



HAL
open science

Utilisation de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR pour l'évaluation des systèmes de barrières de sécurité : application au secteur minier colombien

Felipe Munoz Giraldo

► **To cite this version:**

Felipe Munoz Giraldo. Utilisation de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR pour l'évaluation des systèmes de barrières de sécurité : application au secteur minier colombien. Autre. Institut National Polytechnique de Lorraine, 2007. Français. NNT : 2007INPL049N . tel-01752821

HAL Id: tel-01752821

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01752821v1>

Submitted on 29 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE
Ecole Nationale Supérieure des Industries Chimiques de Nancy
Laboratoire des Sciences du Génie Chimique, UPR 6811 CNRS

Ecole Doctorale :
Sciences et Ingénierie des Ressources, Procédés, Produits, Environnement

THESE

Présentée à :

L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

pour l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'INPL

Spécialité : Génie des Procédés et des Produits

par

Felipe MUÑOZ GIRALDO

Utilisation de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR
pour l'évaluation des systèmes de barrières de sécurité :
application au secteur minier colombien

Soutenue publiquement le 7 Septembre 2007 devant le jury composé de

Président :	M. André LAURENT	(INPL ENSIC - CNRS LSGC)
Rapporteurs :	M. Christian DELVOSALLE M. Henry LONDICHE	(Faculté Polytechnique de Mons, Belgique) (Ecole des Mines de Saint-Etienne)
Examineurs :	M. Michel SARDIN M. Pierre PERILHON M. Laurent PERRIN	(INPL ENSIC - CNRS LSGC) (AGORAMETRIE) (INPL ENSIC - CNRS LSGC)
Invités	M. Fernando CEPEDA ULLOA M ^{me} . Ruth COUTTO	(Ambassadeur de Colombie, Paris) (ONU PNUE, Paris)

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE
Ecole Nationale Supérieure des Industries Chimiques de Nancy
Laboratoire des Sciences du Génie Chimique, UPR 6811 CNRS

Ecole Doctorale :
Sciences et Ingénierie des Ressources, Procédés, Produits, Environnement

THESE

Présentée à :

L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

pour l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'INPL

Spécialité : Génie des Procédés et des Produits

par

Felipe MUÑOZ GIRALDO

Utilisation de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR
pour l'évaluation des systèmes de barrières de sécurité :
application au secteur minier colombien

Soutenue publiquement le 7 Septembre 2007 devant le jury composé de

Président :	M. André LAURENT	(INPL ENSIC - CNRS LSGC)
Rapporteurs :	M. Christian DELVOSALLE M. Henry LONDICHE	(Faculté Polytechnique de Mons, Belgique) (Ecole des Mines de Saint-Etienne)
Examineurs :	M. Michel SARDIN M. Pierre PERILHON M. Laurent PERRIN	(INPL ENSIC - CNRS LSGC) (AGORAMETRIE) (INPL ENSIC - CNRS LSGC)
Invités	M. Fernando CEPEDA ULLOA M ^{me} . Ruth COUTTO	(Ambassadeur de Colombie, Paris) (ONU PNUE, Paris)

Remerciements

Je me remplis d'émotions et de nostalgie au moment d'écrire ces remerciements. En regardant en arrière, je prends conscience que je n'ai jamais été seul pendant mes trois ans de vie en France.

Je voudrais remercier mes directeurs Michel Sardin et Laurent Perrin de m'avoir guidé et conseillé tout le long de ces années. Du professeur Sardin je me souviendrai de son appui et de sa confiance inconditionnelle, de M. Perrin son amitié, affection, conseil, et appui dans les moments difficiles.

Merci aux rapporteurs de ce mémoire qui me font le grand honneur de le juger et aux examinateurs et invités qui ont accepté de participer au jury.

Ma gratitude va également aux membres du Laboratoire des Sciences du Génie Chimique et tout particulièrement au groupe SISYPHe : Véronique Falk, Sandrine Callé, Nathalie Monnier, André Laurent, Dominique Thomas, Olivier Dufaud, Jean-Christophe Appert-Collin, Laurent Marchal-Heussler, Jean-François Remy et Nadia, Guillaume et Mamadou. Je n'oublierai jamais le respect et le traitement spécial que j'ai reçu.

Je garderai également en mémoire la compréhension et l'estime de tout le personnel administratif, mais spécialement de Claudine Pasquier, Annie Frey, Josiane Moras, Veronique Stolf, Nelly Lozinguez et Corinne Decruz.

Je voudrais également remercier mes amis inconditionnels Ana, Paulina, Ana Cristina, Maxim, Alexis, Fabrice, Michel, Benoît, Emilio et Juan Carlos, la vie m'est très généreuse, je vous remercie pour ces trois ans de très belle amitié.

Un des moments les plus difficiles est peut-être celui où l'on dit au revoir à des personnes que l'on aime sans savoir si on les reverra un jour. Je voudrais remercier la confiance que l'on m'a faite de l'autre côté de l'océan, je vous voudrais citer : Cristina, Catalina, España, Marcela, JuanK, Andrés, Alex, LuisK, Daniel, Alejandro, Pablo, Tuto, Fernando, Anderson, Carlos, Richard et beaucoup d'autres... merci mes amis...

Pour finir, je ne voudrais pas oublier l'amour ressenti pour toute ma famille... amour qui se renforce avec le temps... je les aime... les aime de tout mon cœur.

Merci à toutes et à tous...

Liste des abréviations

ADD	Arbre des Défaillances
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets de leur Criticité
APELL	Awareness and Preparedness for Emergencies on a Local Level
ARAMIS	Accidental Risk Assessment Methodology for Industries
ASOMINEROS	Association Colombienne des Mineurs
ATEX	Atmosphère Explosible
BT	Barrière Technique
BU	Barrière Utilisateur
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
CEA	Commissariat à l'Énergie Atomique
CEPAL	Commission Economique pour l'Amérique Latine
CERI	Canadian Energy Research Institute
CIDA	Canadian International Development Agency
COMIBOL	Coopérative Minière de Bolivie
CTNF	Complexité téléologique des niveaux fonctionnels
DIOS	Systèmes décision-information-opération
DSHEFS	Division of Surveillance Hazard Evaluations and Field Studies
EARO	Eco-Auto-Réorganisation
FNUP	Fonds des Nations Unies pour la Population
GEODERIS	Pôle d'appui technique pour le risque minier de la DRIRE Lorraine, France
HAZOP	Hazard and Operability Studies
HBT	Hazard, Barrier and Target
INGEOMINAS	Institut Colombien de Géologie et du Travail des Mines
ISIC	Classification Standard internationale des activités industrielles pour toutes les activités économiques
MA	Méthode Analytique
MADS	Méthode d'Analyse des Dysfonctionnements dans les Systèmes
MCX	Modélisation de la Complexité
MEI	flux : matière-énergie-information
MINERCOL	Enterprise National de Minier Ltda
MOSAR	Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques
MS	Méthode Systémique
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health

OIT	Organisation Internationale du Travail
PIB	Produit Intérieur Brut
PID	Proportionnel Intégral Dérivé
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
POT	Plan d'Ordre Territorial
SLM	La Systémique de Le Moigne
SPI	Systèmes de procédé d'information
UPME	Unité de Planification de l'Energie Minière

Sommaire

INTRODUCTION	3
CHAPITRE 1 : DE LA SYSTEMIQUE DE JEAN-LOUIS LE MOIGNE A L'ENSEMBLE METHODOLOGIQUE MADS/MOSAR	8
INTRODUCTION	9
1.1. LA SLM ET SA CONCEPTUALISATION.	10
1.1.1. <i>Qu'est-ce que le savoir?</i>	10
1.1.2. <i>Pourquoi le savoir est-il valide ?</i>	10
1.1.3. <i>Comment peut-on construire le savoir ?</i>	11
1.1.3.1. La rationalité de la modélisation	12
1.1.3.1.1. Formalisme et rationalité du processus	12
1.1.3.1.2. La logique	12
1.1.3.1.3. La méthode : complexité - SLM.....	13
1.1.3.2. Modélisation systémique : Systémographie.....	16
1.1.3.3. La théorie Inforgetic	19
1.2. LE MODELE GENERAL DE DANGER MADS	20
1.3. LA METHODOLOGIE MOSAR	22
1.3.1. <i>Le module A</i>	23
1.3.1.1. Activité 1A. Représentation de l'installation	24
1.3.1.2. Activité 2A. Identification des dangers et des scénarios d'accidents	24
1.3.1.2.1. L'identification des systèmes source de danger	24
1.3.1.2.2. <i>Identification des événements non souhaités</i>	25
1.3.1.2.3. <i>Identification des scénarios d'accidents plausibles</i>	25
1.3.1.3. Activité 3A. Evaluer les risques.....	26
Sélection des critères d'évaluation	26
Evaluation des scénarios	26
1.3.1.4. Activité 4A. Négociation des objectifs de prévention.....	26
Détermination d'une grille gravité x probabilité.....	26
Processus de négociation de la grille de gravité x probabilité	27
Localisation des scénarios d'accidents sur la grille	27
1.3.1.5. Activité 5A. Définition des barrières.....	27
CHAPITRE 2 : LA PROBLEMATIQUE DU SECTEUR MINIER	28
INTRODUCTION	29
2.1. PREMIERE CONTRAINTE : GLOBALISATION VS. STRATEGIE MULTI-LOCALE	29
2.2. SECONDE CONTRAINTE : ECHELLE VS. IMPACTS.....	31
2.3. LE TRAVAIL DANS LES MINES COLOMBIENNES	33
2.3.1. <i>Dimension économique</i>	34
2.3.2. <i>Vision 2019</i>	35
2.3.2.1. L'exploitation du charbon.....	37
2.3.2.2. L'exploitation des métaux précieux.....	38
2.3.3. <i>Le cadre réglementaire minier colombien</i>	39
2.3.3.1. Le cadre législatif minier colombien.....	40
2.3.3.2. Cadre législatif environnemental colombien.....	42
2.3.3.3. Cadre législatif territorial colombien.....	43
2.3.3.4. Démarche minière environnementale	45
2.3.4. <i>Vision sur la santé et la sécurité industrielle</i>	47
2.3.4.1. Sécurité industrielle : la fatalité minière	48
2.3.4.2. Santé minière : le cas des pneumoconioses	50
2.3.4.3. Risques post-opération : effondrement	51
2.3.4.4. La relation entre le taux de décès et le contrôle national	53
CHAPITRE 3 : LA DEMARCHE METHODOLOGIQUE	55
INTRODUCTION	56
3.1. CONFIGURATION DE LA BOITE A OUTILS	56
3.2. DE LA SYSTEMIQUE AU MODELE	57

3.3.	SUIVI DE LA DEMARCHE METHODOLOGIQUE	60
3.3.1.	Activité 1A. « Représentation de l'installation »	60
3.3.2.	Activité 2A et 3A. « Identification de dangers et des scénarios d'accident – évaluation des risques » 62	
3.3.2.1.	Identification de systèmes de sources de danger.....	62
3.3.2.2.	Identification des événements non souhaités.....	63
3.3.2.3.	Identification des accidents plausibles et évaluation de risques.....	64
3.3.3.	Activité 4A. « Négociation des objectifs de prévention »	65
3.3.3.1.	Détermination d'une grille Gravité*Probabilité	65
3.3.3.2.	Localisation des scénarios d'accident.....	67
3.3.4.	Activité 5A. « Définition des barrières »	69
3.3.4.1.	Qu'est ce qu'une barrière ?.....	69
3.3.4.2.	Définir une barrière de sécurité	69
3.3.4.2.1.	Barrière de sécurité.....	70
3.3.4.2.2.	Fonction de sécurité.....	70
3.3.4.2.3.	Système de sécurité	70
3.3.4.3.	Barrières réglementaires	72
CHAPITRE 4 : ANALYSE DES RESULTATS.....		76
INTRODUCTION		77
4.1.	ANALYSE DES INSTRUMENTS REGLEMENTAIRES	79
4.1.1.	Code des mines : Loi 685 de 2001.....	79
4.1.2.	Résolution 02406 de 1979.....	82
4.1.3.	Décret 1335 de 1987	84
4.1.4.	Loi 99 de 1993 et Décret 1220 de 2005.....	86
4.1.5.	Décret 1295 de 1994 et Résolution 1016 de 1989.....	90
4.1.6.	Loi 320 de 1996 et Décret 2055 de 1999.....	94
4.2.	EVALUATION DE L'ENSEMBLE METHODOLOGIQUE MADS/MOSAR POUR L'ANALYSE DE MEGA-SYSTEMES.....	95
4.2.1.	Activité 1A. Représentation de l'installation.....	95
4.2.2.	Activité 2A. Identification des dangers et scenarios d'accident.	96
4.2.3.	Activité 3A/4A. Evaluer les risques et la négociation d'objectifs de prévention.....	96
4.2.4.	Activité 5A. Définition des barrières.....	98
CONCLUSION.....		99
REFERENCE.....		103
ANNEXES.....		108

Introduction

« Pays en voie de développement », le terme développement est souvent pris comme un raccourci pour développement économique [1] mais il concerne également le développement humain, c'est-à-dire d'autres paramètres pouvant être considérés comme positifs pour la société (éducation, santé, espérance de vie, etc.).

L'ONU [2] calcule un « indicateur de développement humain » (IDH) par pays, cet IDH est un indice composite, sans unité, compris entre 0 (exécrable) et 1 (excellent), calculé par la moyenne de trois indices (les données utilisées sont celles communiquées par les États à l'ONU) quantifiant respectivement :

- la santé/longévité (mesurées par l'espérance de vie à la naissance), qui permet de mesurer indirectement la satisfaction des besoins matériels essentiels tels que l'accès à une alimentation saine, à l'eau, au logement, à une bonne hygiène et aux soins médicaux.
- le savoir ou niveau d'éducation. Il est mesuré par le taux d'alphabétisation des adultes (pourcentage des quinze ans et plus sachant écrire et comprendre aisément un texte court et simple traitant de la vie quotidienne) et le taux brut de scolarisation (mesure combinée des taux pour le primaire, le secondaire et le supérieur). Il traduit la satisfaction des besoins immatériels tels que la capacité de participer aux prises de décision sur le lieu de travail ou dans la société.
- le niveau de vie (logarithme du produit intérieur brut par habitant en parité de pouvoir d'achat), afin d'englober les éléments de la qualité de vie qui ne sont pas décrits par les deux premiers indices tels que la mobilité ou l'accès à la culture.

Dans le rapport publié en 2006 [2], les IDH calculées pour l'année 2004 vont de 0,965 pour le premier pays à 0,311 pour le 177^{ème} pays (le Niger). Les pays de tête sont : la Norvège, l'Islande, l'Australie, le Luxembourg et le Canada. La France se classe à la 16^{ème} position avec un indicateur de 0.942. La moyenne mondiale est de 0,722 et l'ONU classe les pays en trois groupes :

- pays à développement humain élevé ($IDH \geq 0,8$) : 63 pays ;
- pays à développement humain moyen ($0,5 \leq IDH < 0,8$) : 83 pays ;
- pays à faible développement humain ($IDH < 0,5$) : 31 pays.

Le classement des pays en fonction de leur développement est assez récent, le 20 janvier 1949, dans son discours sur l'état de l'Union, le président américain Harry Truman utilise pour la première fois le terme de développement pour justifier l'aide aux « pays sous-développés ». Il y déclara être du devoir des pays du Nord capitalistes, qualifiés de « pays développés », de diffuser leurs technologies et assistance aux pays qualifiés de « sous-développés », pour qu'ils se rapprochent du modèle de société développé occidental.

Bien que de nombreux pays aspirent au développement, le terme lui-même est fortement critiquable vu qu'il est fortement centré sur les sociétés occidentales. Cela impliquerait une direction et un mouvement que ces pays doivent suivre, ainsi qu'une éventuelle infériorité des pays en développement. Nous préférons donc le terme de pays émergents. Ce concept de pays émergents est né dans les années 1980 avec le développement des marchés boursiers. La définition est évidemment floue. On considère généralement que les pays

émergents sont les pays en développement qui ne font pas partie des pays les moins avancés que l'on peut identifier aux pays à développement humain moyen obtenus grâce à l'indicateur de développement humain (IDH). La définition est parfois réduite à celle nouveaux pays industrialisés.

L'appartenance à ce groupe n'est pas figée : la Corée du Sud ou Singapour, anciens pays émergents, font désormais partie du groupe des pays développés. À l'inverse, la situation de pays comme l'Argentine, ancien pays « riche », rend la définition plus difficile.



Figure 1. Représentation des pays émergents, d'après [2]

Les pays émergents connaissent un accroissement de leur revenu par habitant et donc de l'augmentation de leur part dans le revenu mondial. Les pays émergents ont souvent appliqué deux types de stratégies de développement pour s'intégrer rapidement à l'économie mondiale : la stratégie d'industrialisation par substitution aux importations et la stratégie d'industrialisation par promotion des exportations. Cette division est maintenant un peu dépassée puisque les pays ayant le mieux réussi leur politique de développement sont justement ceux qui ont su habilement jouer entre protectionnisme et ouverture commerciale, empruntant à chaque stratégie ses points forts et ses avantages. Il est tout de même nécessaire de s'interroger sur le concept de stratégie car les institutions financières internationales ainsi que les multinationales interviennent de plus en plus dans la politique des Etats, réduisant parfois à néant les stratégies de développement...

Lors de sa dernière réunion tenue à Heiligendamm (Allemagne, 6-8 juin 2007), le Groupe des Huit (G8 - coalition des huit pays les plus industrialisés du monde) a entamé des travaux avec les pays émergents au lendemain d'un accord où les huit pays se sont accordés sur la nécessité de réduire de « façon substantielle » ses émissions de gaz à effet de serre pour endiguer le réchauffement de la planète contre le réchauffement climatique, s'engageant à considérer avec « sérieux » la proposition européenne de diviser par deux les émissions mondiales d'ici 2050. Les cinq pays émergents conviés à la réunion (la Chine, l'Inde, le Brésil, l'Afrique du Sud et le Mexique) représentent 42 % de la population mondiale et occupent une place croissante dans l'économie et le commerce mondiaux. Ils se sont exprimés par la voix du président chinois Hu Jintao qui a signalé que le calendrier proposé était trop vague et trop lointain et a signalé que les pays en développement « sont toujours en position de désavantage dans la course au développement », que la mondialisation les confronte à « d'innombrables défis ». Il a plaidé pour l'établissement d'un « ordre économique mondial sensé », pour le renforcement effectif de la coopération et l'amélioration des mécanismes de dialogue entre le monde en développement et les pays développés et a confié que « les

pays en développement ont encore un long chemin à parcourir vers l'industrialisation, l'urbanisation et la modernisation » et que « la demande d'énergie va naturellement augmenter ». Ces pays émergents souhaitent par conséquent que soit « trouvée une voie qui garantisse (la satisfaction) des besoins énergétiques et la réalisation d'objectifs de développement durable ». Dans tous les cas ces pays réclament le droit au développement économique et à davantage de prospérité.

Selon les scénarios [3] établis par l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE), et suivant l'hypothèse d'une continuation des tendances passées, la demande en énergie devrait s'accroître en moyenne de 1,7% par an au cours des trente prochaines années. La demande mondiale d'énergie passerait de 9 milliards de tep (tonnes équivalent pétrole) à 15,3 milliards de tep, soit une croissance de 66%. La croissance de la demande sera principalement couverte par les combustibles fossiles. On s'attend ainsi à une croissance de 2,4% pour le gaz, de 1,8% pour le pétrole, et de 1,6% pour le charbon, alors que le nucléaire stagnerait. Les énergies renouvelables (hors hydraulique), auraient le plus fort accroissement avec 3,3% mais leur part resterait faible, environ 4% en 2030.

Les ressources énergétiques sont-elles suffisantes pour ce scénario ? On s'attend à un fort accroissement de la demande d'énergie mais également à un fort accroissement de la production d'énergie qui viendrait pour la plus grande part des pays en développement.

- L'estimation des réserves de pétrole [4] se monte à 1.050 milliards de barils, sans compter une croissance future liée aux nouvelles technologies d'extraction, soit 40 ans de la production actuelle. Il n'y a donc pas d'inquiétude immédiate à avoir sur le niveau de ses réserves. Par contre, leur répartition géographique posera des problèmes politiques croissants. Les pays de l'OPEP possèdent à eux seuls les 2/3 des réserves de pétrole et plus de la moitié des réserves mondiales sont localisée dans les pays du golf arabo-persique. La production des pays non-OPEP devrait baisser à la fin de cette décennie. La croissance de la demande de pétrole serait ainsi assurée par les pays de l'OPEP et en particulier par ceux du Moyen-Orient. La dépendance des pays industrialisés vis-à-vis du pétrole du Moyen-Orient devrait croître et se retrouver au niveau de celui des années 1970.
- Les réserves prouvées en gaz naturel sont très abondantes [5]. Elles furent estimées à $165 \cdot 10^{12}$ milliards de m^3 à la fin de l'année 2000, soit 65 ans de production actuelle. Les ressources ultimes, y compris les réserves prouvées, sont estimées à 200 ans de production actuelle. La distribution des réserves gazières est meilleure que celle des réserves pétrolières, cependant deux régions dominant la scène gazière : le Moyen-Orient et l'ex-URSS. Elles contiennent les 3/4 des réserves gazières mondiales avec la Russie (30%) et l'Iran (20%) qui concentrent les réserves. Les réserves prouvées de gaz naturel ont doublé au cours des 20 dernières années, elles dépassent maintenant les réserves de pétrole. Le progrès technologique a joué un rôle majeur dans les découvertes de nouvelles réserves ainsi que dans l'accroissement des champs existants ; de plus, alors que par le passé les réserves gazières ont été découvertes en liaison avec une exploration pétrolière, les compagnies pétrolières forent maintenant, vu le développement de ce marché, de plus en plus pour trouver directement du gaz naturel. L'éloignement des réserves par rapport aux grands centres de consommation (Amérique du nord, Europe et Asie pacifique) et de certains pays émergents entraînera un développement important du commerce gazier mondial qui devrait être multiplié par 4. Il n'y a pas aujourd'hui de marché

mondial mais des marchés régionaux et nous devrions ainsi assister à l'émergence d'un véritable marché mondial du gaz d'ici les trente prochaines années.

- Les réserves de charbon, sont diversifiées au niveau géographique. Les réserves sont très abondantes, environ $985 \cdot 10^{12}$ tonnes de charbon, soit l'équivalent de 200 ans de la production actuelle. Le charbon sert de source d'énergie depuis des siècles. Il a fourni l'énergie nécessaire au démarrage de la révolution industrielle au XIX^{ème} siècle et à l'amorce de l'ère de l'électricité au début du XX^{ème} siècle. Le charbon constituait la plus importante source d'énergie primaire du monde jusqu'à la fin des années 60, lorsque le pétrole l'a devancé. La production a augmenté de façon importante grâce aux progrès techniques et de nos jours, quelque 70% de la production mondiale de charbon est consommée afin de produire de l'électricité, fournissant ainsi environ 40% de l'énergie électrique totale à l'échelle mondiale, nous pouvons également noter que presque toute la production mondiale d'acier de première fusion est basée sur le minerai de fer et sur la fonte brute obtenue dans les hauts fourneaux alimentés en coke provenant du charbon. Mais nous ne pouvons pas oublier que le charbon se heurte à certaines contraintes environnementales et bien entendu aux dangers directement liés à l'exploitation qui est la plupart du temps souterraine.

L'exploitation minière est le cinquième plus grand secteur économique de la planète. Ces dernières années, de plus en plus de multinationales de ce secteur se sont déplacées vers l'hémisphère Sud, où elles bénéficient de possibilités plus nombreuses, où le secteur est moins réglementé et où elles ne doivent pas se soumettre à des normes environnementales aussi strictes que dans les pays du Nord. Dans le mouvement de libéralisation et de privatisation, les gouvernements des pays en développement, autrefois méfiants vis-à-vis des multinationales minières, assouplissent parfois leurs législations et leurs réglementations et mettent en place des avantages fiscaux pour les attirer. Depuis le début des années 1990, soixante-dix pays, dont trente et un en Afrique, ont ainsi ouvert leurs portes à ces multinationales [6], engagées dans une course au rachat des mines publiques. Les exploitations à grande échelle peuvent détruire irrémédiablement les habitats et les cultures des populations locales, on estime [7] qu'au cours du siècle écoulé, l'exploitation minière a chassé cent millions de personnes, la plupart dans les pays en développement, de leurs terres d'habitat et de culture. Des forêts entières furent parfois rasées et les mines produisent également de vastes décharges, qui menacent la santé et la sécurité des habitants, notamment en raison des glissements de terrain qu'elles peuvent provoquer. Elles peuvent également contaminer des sources d'eau potable, à proximité et parfois très loin de la mine. Néanmoins, la première cible de l'exploitation souterraine de charbon n'est autre que le mineur qui se trouve confronté à des dangers liés à la pression des terrains, à la présence de gaz dangereux et à l'inhalation de poussières. Les dangers les plus courants sont les chutes de bloc et les éboulements mais les dangers les plus redoutés sont le coup de grisou et le coup de poussières qui peuvent provoquer l'inflammation de plusieurs kilomètres de galerie ; leurs effets peuvent être terrifiants comme lors de la catastrophe de Courrières (Nord-Pas-de-Calais en 1906) qui provoqua le décès de plus mille ouvriers. Mais les dangers et les risques ne disparaissent pas avec l'arrêt de l'exploitation car des événements comme des affaissements de terrain peuvent endommager des habitations et des ouvrages d'art durant la phase de post-exploitation.

Ces dangers et risques sont connus et reconnus depuis de nombreuses années, mais leurs identification et gestion ne sont ni simples, ni compliqués, mais réellement complexes. Souhaitant améliorer la sécurité de ce type d'exploitation et face à la diversité des domaines et à la complexité des systèmes et phénomènes mis en jeu, il est indispensable de maîtriser une méthode d'évaluation formalisée des dangers et de posséder ensemble de systèmes décisionnels aptes à en intégrer les résultats. Nous avons donc choisis de travailler sur l'analyse de risques appliquée au secteur minier d'un pays émergent et tout spécifiquement sur l'extraction souterraine de charbon. L'ampleur du travail et la volonté de réaliser une étude solide et transposable à un autre secteur d'activité, voire à un autre pays nous ont orientés vers une méthode systémique et systématique d'analyse de risques afin de tenter de limiter les habituelles faiblesses communes à toutes les méthodes d'analyse de risques (exhaustivité, reproductibilité, subjectivité, inscrutabilité) mais surtout de faire très attention de ne pas utiliser la méthode en dehors de son domaine d'utilisation.

Les deux premières difficultés rencontrées furent la définition du système et le choix de la méthodologie d'analyse qui devait être suffisamment flexible et solide pour pouvoir supporter une analyse à l'échelle d'un état. Il était donc indispensable de présenter dès le premier chapitre les bases et concepts de la systémique ainsi que ses liens avec la méthodologie d'analyse de risques choisie pour mener à bien cette étude.

Le second chapitre présente la problématique du secteur minier de la Colombie qui est le pays émergent qui a été choisi pour réaliser cette analyse. Nous y abordons sa dimension économique actuelle ainsi qu'une vision à moyen terme tout en exposant son cadre réglementaire ainsi que son impact sur les travailleurs et l'environnement.

Le choix de trois scénarios : explosion dans une mine en activité, l'atteinte des travailleurs par une maladie professionnelle de type silicose et l'effondrement d'une mine après sa fermeture sont présentés et étudiés au travers de l'application de la démarche méthodologique MADS/MOSAR dans le troisième chapitre. Nous y abordons également les difficultés d'utilisation directe de la méthodologie originale et des améliorations que nous proposons, notamment au niveau de la qualification des barrières de sécurité.

Le quatrième chapitre présente l'analyse des instruments réglementaires actuellement présents et leur positionnement sur les scénarios étudiés. Cette analyse montre clairement l'insuffisance des barrières actuelles et nous proposons au lecteur des améliorations aussi bien réglementaires que structurelles de l'administration du secteur minier en place dans le pays.

Chapitre 1 : De la systémique de Jean-Louis Le Moigne à l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR

LES QUATRE PRECEPTES DU NOUVEAU DISCOURS DE LA METHODE

Le précepte de pertinence : Convenir que tout objet que nous considérerons se définit par rapport aux intentions implicites ou explicites du modélisateur. Ne jamais s'interdire de mettre en doute cette définition si, nos intentions se modifiant, la perception que nous avons de cet objet se modifie.

Le précepte du globalisme : Considérer toujours l'objet à connaître par notre intelligence comme une partie immergée et active au sein d'un plus grand tout. Le percevoir d'abord globalement, dans sa relation fonctionnelle avec son environnement sans se soucier outre mesure d'établir une image fidèle de sa structure interne, dont l'existence et l'unicité ne seront jamais tenues pour acquises.

Le précepte téléologique : Interpréter l'objet non pas en lui-même, mais par son comportement, sans chercher à expliquer a priori ce comportement par quelque loi impliquée dans une éventuelle structure. Comprendre en revanche ce comportement et les ressources qu'il mobilise par rapport aux projets que, librement, le modélisateur attribue à l'objet. Tenir l'identification de ces hypothétiques projets pour un acte rationnel de l'intelligence et convenir que leur démonstration sera bien rarement possible.

Le précepte de l'agrégativité : Convenir que toute représentation est partisane, non pas par oubli du modélisateur, mais délibérément. Chercher en conséquence quelques recettes susceptibles de guider la sélection d'agrégats tenus pour pertinents et exclure l'illusoire

Le Moigne [8]

Introduction

Le département hygiène et sécurité de l'IUT de Bordeaux et les spécialistes du CEA, ont développé au cours des années 90 le concept général de ce que nous connaissons actuellement sous le nom de méthodologie MADS/MOSAR. MADS signifiant, *Méthode d'Analyse des Dysfonctionnements dans les Systèmes*, et MOSAR, *Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques*. MADS propose un modèle général du danger et MOSAR construit une méthodologie globale d'analyse de risques. L'ensemble MADS/MOSAR est ce que nous appelons une méthodologie systémique et systématique d'évaluation des risques dans les systèmes complexes.

L'ensemble méthodologique MADS/MOSAR est conçu comme une boîte à outils pour l'analyse de systèmes complexes, comme un instrument d'analyse a priori et comme une référence pour l'application de méthodes d'analyse de risques internationalement reconnues (ex. ADD, HAZOP). Ayant été conçu comme une boîte à outils, l'utilisateur peut sélectionner la séquentialité des différentes activités en fonction de ses finalités (ressources, acteurs, etc.). La construction de cet outil est complexe mais elle représente la base conceptuelle de la science du danger.

La science du danger réunit différents éléments du constructivisme projectif, qui concourent à une problématique commune aux multiples disciplines impliquées dans l'analyse de risques. Ces éléments ont trois objectifs :

1. Objectif pédagogique : promouvoir la transmission et appropriation de la connaissance théorico-pratique d'un modèle de danger général avec une connotation transdisciplinaire.
2. Objectif opérationnel : différencier clairement les méthodes des méthodologies pour l'analyse de risques et mettre en évidence leur complémentarité.
3. Objectif culturel : formaliser un langage commun et un cadre logique transdisciplinaire qui génère un espace de discussion convenable pour le développement d'une culture du risque. L'un des buts de cette culture du risque est « [...] d'améliorer le niveau, réel et perçu, de sécurité de l'Homme face, en particulier, au développement de la technoscience. » [9].

Les objectifs proposés peuvent paraître ambitieux, mais ils génèrent une discussion constructive sur la nécessité de la formalisation et du développement d'une base commune transdisciplinaire pour l'analyse de risques sur le territoire français et européen.

Pour développer cette science du danger on utilise la proposition systémique de Jean-Louis Le Moigne. Cet ingénieur français, instigateur de la systémique et de l'épistémologie constructive, publie en 1977 son livre *-La Théorie du Système Général -théorie de la modélisation-* [8], établissant ce que l'on connaît aujourd'hui sous la dénomination de Systémique de Le Moigne (SLM). L'originalité de son livre réside dans la proposition de nouveaux paradigmes pour « connaître » et dans le développement d'une voie alternative à la méthode analytique.

Nous allons fréquemment établir une comparaison directe entre la proposition SLM (constructivisme/constructivisme-projective) et la méthode analytique (positivisme/réalisme). Cette rupture des paradigmes est fondamentale pour comprendre la proposition originale de Le Moigne et pour nous dépouiller de l'inertie méthodique analytique avec laquelle nous avons été formés durant le XXème siècle.

1.1. La SLM et sa conceptualisation.

Le savoir est l'axe central de la proposition SLM et génère trois questions :

- Qu'est-ce que le savoir ?
- Pourquoi le savoir est-il valide ?
- Comment peut-on construire le savoir ?

1.1.1. Qu'est-ce que le savoir?

La SLM propose deux hypothèses pour répondre à cette question:

- Une hypothèse phénoménologique (le savoir c'est : irréversible, auto-référenciel et dialectique)
- Une hypothèse téléologique (la même cause nous conduit à un même résultat)

Fondé dans le constructivisme génétique proposé par Jean William Fritz Piaget, Le Moigne donne à la téléologie un rôle décisif dans la construction du savoir à travers l'intentionnalité. La discussion sur le savoir n'a pas sa base dans l'objet mais trouve son sens dans l'observateur ; observateur qui se trouve entre la phénoménologie et la téléologie. Ces deux premières hypothèses deviennent les fondements qui déterminent la base de l'épistémologie constructiviste projective (Tableau 1).

Paradigme	Constructivisme	Positivism/Réalisme
1ère hypothèse gnostique	Phénoménologique	Ontologique
caractéristique 1:	Irréversibilité temporelle	Réversibilité totale
caractéristique 2:	Inclusion d'autres (ex. objet)	Exclusion d'autres (ex. objet)
caractéristique 3:	Dialectique	Individualisme
2ème hypothèse gnostique	Téléologie	Déterminisme

Tableau 1. Comparaison entre le constructivisme et le positivisme/réalisme [10]

L'épistémologie constructive projective est l'une des bases de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR. Mais comment peut-on définir et valider une construction dialectique produit d'une intime interrelation sujet/objet ?

1.1.2. Pourquoi le savoir est-il valide ?

Darek M. Eriksson, de l'Université Technologique de Luleå propose une réponse au travers de la distinction de deux niveaux logiques [10]:

- **De la vérité objective et du contrat métaphysique à la faisabilité projective et au contrat social** : il existe alors un critère subjectif pour valider le savoir, les schémas mentaux des différents observateurs vont se mélanger les uns avec les autres au lieu de réaliser une unique réalité. Le changement de paradigme d'une réalité objective à une faisabilité projective, donne au contrat social l'autonomie de la science.
- **De la science de l'autonomie à l'autonomie de la science** : si l'on considère la science, non comme une révélation de lois mais comme le produit d'un procédé projectif, de celle-ci émerge alors son autonomie.

La récursivité est omniprésente dans le travail de Le Moigne, cela pose quelques difficultés pour sa compréhension. Il est habituel au moment de définir un niveau logique de faire référence à son interrelation avec les autres donnant une sensation d'auto-référence. C'est à cause de cela qu'il est utile de juxtaposer le positivisme/réalisme avec le constructivisme projectif (Tableau 2).

Paradigme	Constructivisme projectif	Positivisme/Réalisme
Recherche de :	Faisabilité projective	Vérité objective
Validité individuelle	Croyance (cohérence) de l'observateur	Prescription d'un critère externe
Validité sociale ou collective	Contrat social	Contrat métaphysique ou religieux
Statuts du domaine scientifique	Autonome	Non-autonome

Tableau 2. Validation du savoir, comparaison du constructivisme projectif et du positivisme-réalisme [10]

Le constructivisme projectif est présent dans l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR pour nous empêcher d'avoir la vérité objective comme finalité. Les croyances des observateurs sont présentées à partir de « points de vue » et le contrat social émerge comme un des éléments centraux dans le processus. Nous allons maintenant rentrer dans le « domaine de la méthode », pour tenter de répondre à la question : comment peut-on construire le savoir ?

1.1.3. Comment peut-on construire le savoir ?

Nous avons parlé du savoir et de son pourquoi. Il nous faut maintenant répondre à la dernière question : comment le construire ? Dans la proposition de Le Moigne on peut distinguer trois catégories qui déterminent la base de cette construction : la rationalité de la modélisation, la modélisation systémique et la théorie inforgetic.

La systémique peut être considérée comme le produit de ces trois catégories et sera la méthode de référence pour la modélisation, la systémographie sera l'outil et l'inforgetic son cadre de référence.

1.1.3.1. *La rationalité de la modélisation*

La rationalité de la modélisation comprend : le formalisme et la rationalité du processus, la logique conjointe et la discussion de la méthode.

1.1.3.1.1. *Formalisme et rationalité du processus*

Le constructivisme projectif comprend une formalisation communicable du processus (rhétorique et dialectique), avec de multiples approximations (induction – abduction – transduction – reproduction) basés sur la logique contemporaine (Tableau 3).

Paradigme	Constructivisme projectif	Positivisme/Réalisme
Rationalité:	Raisonnement sur le processus	Raisonnement substantif
caractéristique 1	Raisonnement rhétorique, dialectique-hybride	Raisonnement syllogistique
caractéristique 2	Induction, abduction, transduction, reproduction	Déduction
caractéristique 3	Raisonnement heuristique	Raisonnement algorithmique
caractéristique 4	Logique contemporaine (ET-logique)	Logique formelle (OU-logique)

Tableau 3. Comparaison explicative du formalisme et de la rationalité du procédé [10]

1.1.3.1.2. *La logique*

Nous allons présenter les différences entre la logique contemporaine et la logique formelle, en explorant ses paradigmes axiomatiques. Les axiomes de la logique contemporaine sont :

- **Axiome opérationnel téléologique** (synchronique) : on considère un phénomène significatif comme le produit d'une action intentionnelle non erratique.
- **Axiome irréversible téléologique** (diachronique) : on considère qu'un phénomène peut être modelé si une transformation est perçue en générant une projection dans le temps et l'histoire.

- **Axiome d'inséparabilité** (récursivité, inclusion, autonomie) : il est déterminé par la relation existant entre la transformation et projection dans le temps.

Paradigme	Constructivisme Projectif	Positivisme/Réalisme
Système logique	Logique systémique	Logique analytique
Premier axiome :	Possibilité téléologique	Identité
Deuxième axiome :	Irréversibilité téléologique	Pas de contradiction
Troisième axiome :	Inséparabilité	Exclusion

Tableau 4. Comparaison de la logique conjointe [10]

Les axiomes téléologiques et d'inséparabilité génèrent des opportunités d'analyses qui enrichissent la discussion en faveur d'une vision globale du processus.

Nous allons maintenant regarder la méthode à utiliser pour le construire. La SLM fait référence à un concept de complexité, nous allons présenter quelques principes en relation avec la science du danger.

1.1.3.1.3. La méthode : complexité - SLM

En génie des procédés, le mot complexe est souvent utilisé pour dire compliqué. C'est ainsi que nous entendons fréquemment les termes complexité ou complication d'un ensemble technologique, sans penser à la différence entre les deux mots. Est-ce que nous pouvons faire une différence entre les deux ? Pour nous y aider, nous pouvons citer Le Moigne dans son livre « La modélisation des systèmes complexes ».

« L'intelligibilité du compliqué et du complexe

L'intelligibilité du compliqué se fait par simplification (le simple est toujours le simplifié assurait G. BACHELARD) et donc par mutilation ; et la méthode est : Commençons par simplifier le compliqué.

L'intelligibilité du complexe se fait par modélisation (nous ne raisonnons que sur des modèles assurait P. VALERY) ; la question dès lors devient : quelles méthodes pour modéliser la complexité.

Archimède. De Vinci, G.B. Vico, P. Valery, G. Bachelard, J. Piaget, H.A. Simon, E. Morin... tant d'autres, nous proposent des réponses que nous pouvons désormais exposer et pratiquer » [8]

Il est clair qu'il existe non seulement une différence entre le complexe et le compliqué, et que l'une ou l'autre condition détermine la stratégie d'analyse (simplification ou

modélisation). Nous comprendrons alors complexité comme « l'émergence de processus, événements ou objets multidimensionnels, multi-référentiels, interactifs (rétroactifs et récursifs) avec des composants aléatoires, hasard et indétermination qui conforment dans leur appréhension des grades irréductibles d'incertitude. » [11]. Reconnaître l'irréductibilité est le moyen de définir un ensemble d'éléments comme complexes, et l'étude des ses émergences comme événements.

La science du danger étudie l'émergence des événements qui ont lieu dans des ensembles technico-sociaux inscrits dans un environnement actif. Un événement est « le produit d'associations, combinaisons, interrelations d'éléments, qui ont lieu dans des échelles de temps très variés (court terme, moyen, long terme) au cours de la rencontre ou de la perturbation d'ensembles structurés. » [9].

Les événements étudiés par cette science sont nommés événements non souhaités, ils définissent entre autres : l'imprévisible, ce qui est peu probable, l'accidentel, ce qui est presque accidentel, le non contrôlé, l'irréversible, les vides des processus de design. Ils sont le résultat de dysfonctionnements de systèmes artificiels qui peuvent avoir des effets négatifs sur une cible (ex. travailleurs, écosystèmes, population et les biens matériels)¹.

Nous considérons alors les événements non souhaités comme la propriété émergente d'un procédé complexe produit d'ensembles d'organisations technico-sociales. Ces événements non souhaités sont inscrits dans un environnement actif et ont besoin d'une modélisation pour aider à leurs compréhensions. Quand nous parlons de modélisation nous faisons référence à une représentation d'un ensemble organisationnel complexe réalisée par un observateur², à l'aide d'une méthode systémique. Les différences entre méthode analytique et systématique nous sont présentées dans le Tableau 5.

¹ « La notion d'Événement Non Souhaité est une notion anthropocentrique ; le même type d'événement peut, selon les époques, les milieux socioculturels, les stratégies ou les rôles individuels, être non souhaité pour les uns, paraître indifférent à d'autres et même souhaité par certains. »

² Ce mot ne fait pas nécessairement référence à un unique individu.

Mode de modélisation :	Méthode Analytique (MA)	Méthode Systémique (MS)
Domaines :	Systèmes compliqués	Systèmes complexes
Caractéristiques du phénomène :	Objet (état) Élément (substantif) Contrôle (analyse)	Projet (processus) Entité active (verbe) Intelligence (savoir)
Notion du système:	Système = choses, relations causales, ensembles	Système Général = être (autonome), faire (synchronique), se faire (diachronique)
Notion d'organisme :	Structure des états passifs	Conflit des trois actions récursives : - Produire et auto produire - Mettre en relation et en auto-relation - Maintenir et auto-maintenir
Mode d'étude :	Analyse Simplification Explication des causes (étude des causes - effets ; lois naturelles déterminantes)	Dessin (conception) Modélisation (complexité) Compréhension téléologique (étude des moyens et finalités ; finalité du phénomène)
Notion du modèle :	Simplification disjonctive de la réalité	Conception et perception du phénomène ; conjonction d'une représentation (modèle), le modélisateur et l'objet modélisé
Question principale de l'étude :	Quels sont les déterminants ? De quoi est fait le phénomène ? Son efficacité ? Comment faire ?	Finalité de l'étude ? Que fait-elle ? Effectivité : quoi faire ?
Validation :	Evidence (vérité objective)	Pertinence (faisabilité projective / cognitive)

Tableau 5. Comparaison des modélisations analytique et systémique [10]

Les qualités essentielles d'une méthode de modélisation sont très souvent transparentes pour son utilisateur. C'est pour cela que nous considérons qu'il est important de présenter le Tableau 6, où l'on réalise une comparaison de cinq méthodes fondamentales. Il est important de se souvenir que la SLM est l'intégration des paradigmes structuralistes et cybernétiques formalisé entre 1977 et 1994.

Paradigme de modélisation	Qualités essentielles				
Mécanique rationnelle	Fonction	---	Structure	Fermée	Déterministe
Mécanique statistique	---	Transformation	Structure	Fermée	Déterministe
Structuralisme	Fonction	Transformation	Structure	Fermée	Déterministe
Cybernétique	Conduite		---	Ouverte	Téléologique
Systémique	Fonction	Transformation	Structure	Ouverte	Téléologique

Tableau 6. Comparaison des cinq méthodes fondamentales de modélisation et de leurs caractéristiques [10]

Connaissant la base conceptuelle de la systémique nous allons maintenant étudier l'outil qui permet de réaliser la modélisation.

1.1.3.2. *Modélisation systémique : Systémographie*

Le concept de système n'est pas naturel, il est le produit de la construction symbolique et dialectique des Hommes. C'est le produit d'un observateur qui cherche à connaître l'objet, à travers «... une vision organisée d'une classe de phénomènes que ce soit en cherchant à bâtir une représentation formelle aussi explicite que possible, ou au contraire en s'imprégnant d'une représentation mentale laissée délibérément implicite, qui doit prendre une foule d'options souvent délicates qui réclame de sa part une compréhension profonde de ce qu'est un modèle et des rapports qui lient modèles et réalités... » [12].

Pour définir ce qu'est un système pour un observateur, il faut dépasser le phénomène et le transformer en un processus à partir d'un système représentatif. C'est comme cela qu'un observateur pourrait identifier une ou plusieurs transformations de l'objet à différents moments (temps, espace) donnant lieu à la notion de processus [8].

Ce procédé doit pouvoir s'identifier facilement comme étant issu de la cybernétique de premier ordre, cela permet de la représenter au travers du principe de « la boîte noire ». Ce principe de la boîte noire est une représentation simple où s'explique l'objet durant sa transformation (Figure 2) [8]. Nous comprendrons par « boîte noire » non une représentation fermée et passive mais une représentation ouverte à son environnement et active dans son processus.

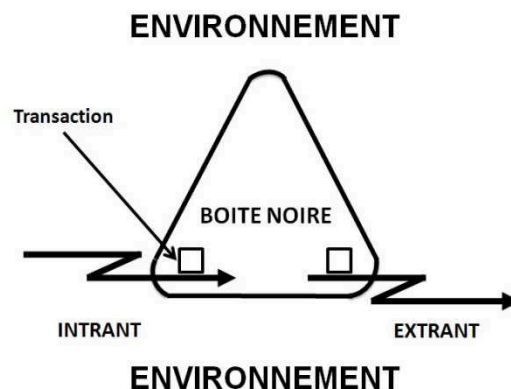


Figure 2. La boîte noire, outil de représentation universelle des objets identifiables dans un processus

Cet outil simple et général va définir la première règle de la systémographie : « c'est elle qui va nous fournir la définition phénoménologique de l'artefact Système Général que nous devons caractériser. » [8].

Résumons ce qu'est la systémographie. En simplifiant au maximum : la systémographie est le procédé avec lequel « on fait une photographie » phénoménologique communicable (modèles), que réalise un observateur d'un objet. Il utilise une « lentille » autoréférentielle nommée *Système Général* (3).

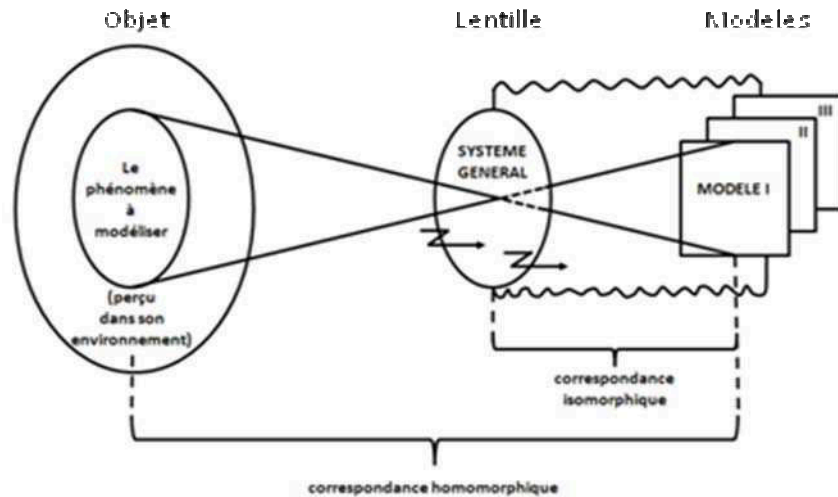


Figure 3. La Systémographie : Le modèle homomorphe de l'objet à modéliser et isomorphe du Système Général doté de toutes ses propriétés [8].

La systémographie propose deux correspondances du (ou des) modèle(s) au travers de l'intime relation *forme-fonction* qui deviennent indicateurs de qualité des produits systémographiques :

- *L'isomorphisme : Correspondance bijective, telle qu'à tout élément de l'ensemble d'arrivée (le modèle) correspond un élément et un seul de l'ensemble de départ (l'objet) ; et réciproquement : la correspondance est transitive, réflexive et symétrique.*
- *L'homomorphisme : Correspondance surjective telle qu'à tout élément de l'ensemble d'arrivée correspond un élément au moins de l'ensemble de départ, sans que la réciproque soit vraie : correspondance transitive et réflexive, mais non symétrique. [8]*

Nous verrons que la méthodologie MOSAR est conçue dans ses activités A1 et A5 comme un outil de correspondance homomorphique et les activités A1 à A4 comme un instrument de correspondance isomorphique.

Nous avons signalé que les événements étudiés par la science du danger sont ceux appelés événements non souhaités. Mais quelles

sont leurs correspondances dans un exercice de modélisation ? L'émergence d'un événement est le résultat de la dualité *flux-champ* décrit par un processus. Le champ correspond à ce que nous avons appelé environnement et les flux correspondent à tout ce qui peut être traité par un système : matière, énergie et information -MEI- (Figure 4) [8].

M	Matière (matériaux et objets tangibles)
E	Energie (sous toutes les formes énergétiques concevables)
S I G N E S O U S Y M B O L E S	SIGNAUX DE COMMANDE D'ACTION
	--Information-- SYMBOLES représentant les transactions du système et de l'environnement autres SIGNAUX SYMBOLES représentant les autres événements (extérieurs)

Figure 4. La typologie des flux MEI

La science du danger utilise la typologie de flux MEI (matière-énergie-information) et l'incorpore au modèle de danger MADS.

Nous avons vu qu'un événement non souhaité est : toute instabilité d'un système qui définit l'imprévisible, le peu probable, l'accidentel, le presque accidentel, le non contrôlé, l'irréversible et les vides des processus de design, généré par la dynamique de flux MEI qui peut conduire à l'autodestruction de celle-ci ou à des transformations déterminées comme catastrophiques dans son environnement ou son interrelation avec d'autres systèmes.

Nous pouvons énoncer les cinq caractéristiques fondamentales d'un système : sa structure, sa fonction, sa finalité, son environnement et son évolution. Ce sont les cinq caractéristiques que l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR reprend de manière explicite pour aider les utilisateurs à définir un système.

La SLM ne se limite pas aux concepts que nous avons présentés. Nous devons nous souvenir qu'à cause de son origine cybernétique les préoccupations de contrôle/information/organisation sont présentes et étudiées à l'aide d'outils comme : les systèmes de procédé d'information (SPI), de l'analyse de la complexité téléologique des niveaux fonctionnels (CTNF), de systèmes décision-information-opération (DIOS) et du paradigme de Eco-Auto-Réorganisation (EARO) [8, 13-17]. Ces instruments ne sont pas inclus dans la proposition

méthodologique MADS/MOSAR et ne font donc pas partie de ce travail. Néanmoins nous voyons au travers de ces instruments une opportunité dans l'évolution future de l'ensemble MADS/MOSAR. Pour en terminer avec la présentation de la SLM nous allons aborder que ce que l'on considère comme le paradigme Inforgetic.

1.1.3.3. *La théorie Inforgetic*

Le paradigme du modèle énergétique étudie le processus de changement de matière en énergie et d'énergie en matière. Lorsque nous devons utiliser ce modèle pour réaliser l'analyse de systèmes complexes (par exemple un système technico-social), il devient peu satisfaisant avec sa vision positiviste/réaliste. Ainsi Le Moigne propose l'inforgetic comme « [...] le cadre théorique et adapté à des modèles de systèmes complexes, qui ne réduisent et ne détruisent pas leur intelligibilité... ». Celle-ci n'a d'autre intention que celle d'incorporer l'interaction information/organisation à travers la médiation de la décision intelligente. Comme nous l'avons fait auparavant, nous présentons la comparaison du modèle énergétique et du modèle inforgetic (Tableau 7).

Paradigme de l'Univers Naturel		1er. Univers Naturel : Energétique	2ème Univers Naturel : Inforgetic
Se réfère à :		Le procédé de conversion entre énergie et matière et vice et versa correspond aux sciences naturelles	L'interaction conceptuelle entre l'information et l'organisation (et vice et versa), assurée par la décision intelligente correspond à l'esprit et les sciences sociales.
Notion d'information :		Données passives et disjointes, sans ambiguïté	Données actives et jointes, avec ambiguïté ; groupe complexe homme/procédé
1er principe :		Principe de conservation mutuelle entre Energie et Matière (PEM)	Principe d'Auto-Organisation (PSO) ou Principe d'Equilibre
2ème principe :		Principe d'action minimale (PLA); ou principe du plus grand au plus petit	Principe d'Action Intelligente (PIA); ou principe de comportement adaptatif téléologique
Quelques caractéristiques du second principe	Recherche	Un optimum	Une satisfaction ou adéquation
	Axé sur	La quantité, le « comment faire »	Qualité/représentation, le "quoi faire"
	Utilise	Algorithmes	Heuristique
	Qualités du domaine d'application:	Systèmes déterminants fermés de critères uniques, prédéterminés	Systèmes délibérés, ouverts, de critères multiples, imprédictibles

Tableau 7. Comparaison des modèles énergétique et inforgetic [10].

La proposition originale de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR propose l'incorporation des dimensions information/contrôle/opération, mais le mécanisme pour y arriver n'est pas très clair. Le lecteur voulant approfondir ses connaissances sur le SLM pourra se

référer au programme européen MCX³ où l'on trouve une excellente base de références bibliographiques.

1.2. Le modèle général de danger MADS

Le modèle MADS est un outil pédagogique qui définit un modèle général de danger et décrit les relations d'un système artificiel inscrit dans son environnement.

Basé sur la proposition systémique de Le Moigne et s'inspirant du modèle énergie de Haddon [18], MADS propose une description totale du mécanisme de danger et donne six stratégies pour l'installation de barrières. Cette analyse ouvre des possibilités aux utilisateurs en générant de nombreuses alternatives pour l'administration d'un type de danger et une vision multidirectionnelle.

MADS est alors un étude du processus de dangers où sont mis en relation une source de danger et une cible à travers le phénomène appelé flux de danger dans une relation de temps et espace très spécifiques nommés champs de dangers (Figure 5) [19]. Il est important de signaler qu'une fois débuté le processus de dommage peut générer des relations source-cible différentes, il peut même générer des processus d'enchaînement et transformer une source de danger en cible. Nous pouvons ainsi décrire la séquence de danger et le concept de scénario de danger émergeant.

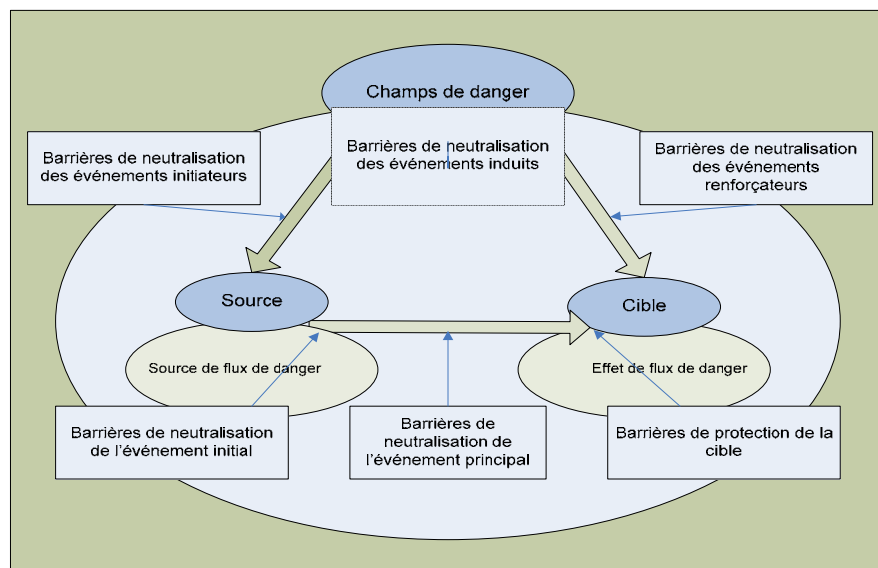


Figure 5. Représentation du modèle MADS avec barrières

L'évaluation du risque correspond à la description d'une ou plusieurs séquences de danger : « Une analyse de risques consiste à étudier le processus de danger, c'est-à-dire la mise en relation d'un système source avec un système cible au moyen de phénomènes appelés flux de dangers dans un environnement actif champ de danger » [20].

L'une des principales critiques faites aux différentes méthodes d'analyse de risques est la non-exhaustivité de leurs analyses. Il est donc nécessaire de définir le type et

³ AEMCX, BP 154, F-13605, Aix-en-Provence, Cedex 1 (<http://www.mcxapc.org/>)

le nombre minimum de relations source/cible à analyser. C'est ainsi que le modèle MADS détermine quatre relations de référence qui sont présentées dans la Figure 6.

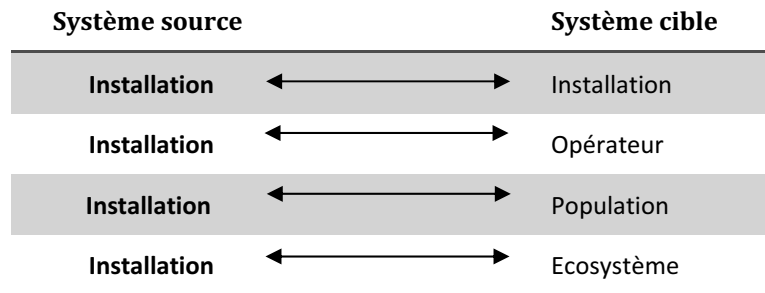


Figure 6. Relations de référence utilisées pour l'analyse de risques

Il est clair que l'objectif principal de la conceptualisation de MADS est d'analyser les risques dans le champ nommé « sécurité de fonctionnement ». Il ne faut pas oublier que la base conceptuelle de MADS est la SLM et que celle-ci ouvre des possibilités pour son application dans d'autres domaines d'analyse ou d'action.

Un des apports les plus importants de la cybernétique de second ordre est l'incorporation de la théorie de l'observateur. Une des conséquences tangibles de cette théorie est la prolifération des « points de vue ». Les différents domaines d'action pour l'analyse de risques, permettent une classification par discipline et s'articulent autour d'un *modèle général de danger* -MADS- (Tableau 8).

Systèmes Source	Systèmes Cible	Points de vue
Installation	Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Sûreté de fonctionnement • Sécurité des biens • ...
Installation	Opérateur	<ul style="list-style-type: none"> • Ergonomie • Sécurité des installations • ...
Opérateur	Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Fiabilité humaine • Malveillance interne • ...
Installation	Population	<ul style="list-style-type: none"> • Hygiène et santé publique • Epidémiologie • Sécurité industrielle • Génie sanitaire • ...
Population	Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Malveillance externe • Sécurité • ...
Installation	Ecosystème	<ul style="list-style-type: none"> • Hygiène et sécurité de l'environnement • Ecologie appliquée • Génie sanitaire • ...
Ecosystème	Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Risques naturels • ...

Tableau 8. Les points de vue et les techniques d'études

Les différentes techniques présentées dans le Tableau 8, ont pour objet l'étude d'un mécanisme de danger émergeant d'une relation source/cible. Ce mécanisme est

déterminé par un flux en termes de matière, énergie ou information, c'est pour cela que l'on doit incorporer les dimensions espace-temps pour en déduire les effets de celui-ci sur la cible. Pour faciliter le travail des analystes, le modèle de danger MADS propose la typologie de flux décrite dans la Figure 7.

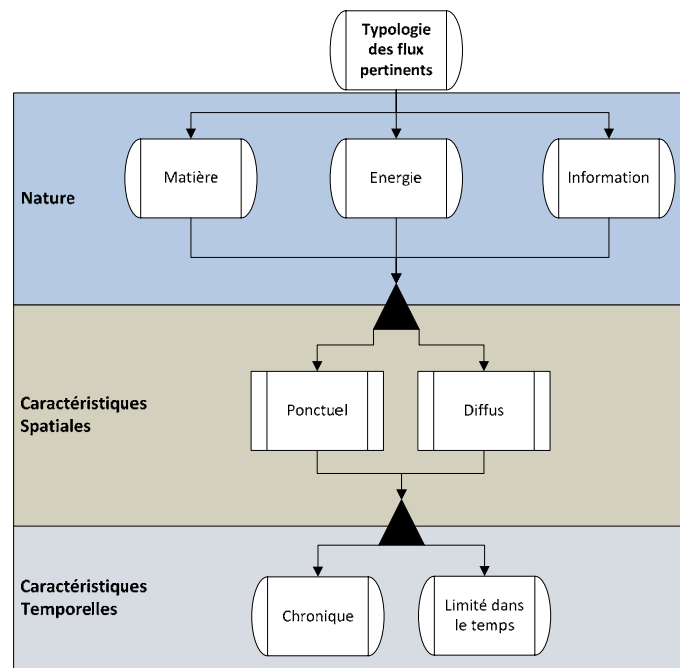


Figure 7. Typologie des flux et définition du champ

Pour résumer, en se basant sur les éléments mentionnés ci-dessus, nous pouvons modéliser les mécanismes de danger entre sources et cibles faisant partie d'un système étudié. Ces mécanismes sont définis par un observateur en utilisant un ou plusieurs points de vue pour identifier les événements non souhaités et évaluer les dangers que ceux-ci représentent. Le cadre systématique permettant de réaliser ce travail est la méthodologie MOSAR.

1.3. La méthodologie MOSAR

Cette méthodologie est considérée comme organisée car s'est une démarche progressive qui utilise les outils internes comme les grilles 1 et 2, les tableaux A, B, C et D et différents outils externes d'analyse de risques internationalement reconnus. Elle est systématique car elle a sa base dans la systémographie et son objectif principal est l'analyse de risques car elle permet d'identifier, d'évaluer, de contrôler, de gérer et de manager le risque d'une opération donnée. Ce cadre méthodologique a été initialement conçu à partir du point de vue *sûreté de fonctionnement*.

L'étude d'un accident peut se réaliser a priori ou a posteriori. Les deux analyses sont complémentaires car les résultats des analyses a posteriori fournissent un retour d'expérience pour une analyse a priori. Elles ont un développement symétrique ; les méthodes a priori déterminent l'analyse du risque et les méthodes a posteriori déterminent l'analyse de la potentialité de l'événement. MOSAR peut être considérée comme une méthodologie a priori qui peut intégrer des méthodes d'analyse détaillées comme l'AMDEC et l'HAZOP.

Face aux dangers d'une installation, MOSAR propose une approximation qui permet de prévoir les risques d'une manière globale grâce à une vision macroscopique, et d'une manière détaillée grâce à une vision microscopique.

La vision macroscopique correspond approximativement à une analyse principale des risques (module A), son but est l'analyse du fonctionnement non détaillé de l'installation et permet de mettre en évidence les risques principaux en relation avec les barrières de sécurité nécessaires à son bon fonctionnement (Figure 8).

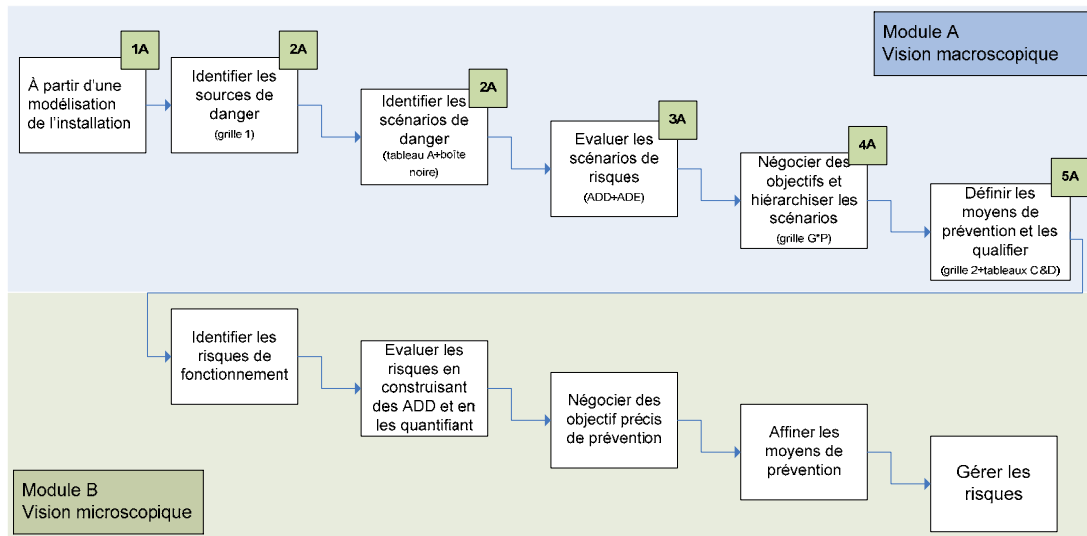


Figure 8. Vision globale de la méthodologie MOSAR

La vision microscopique (module B) est appelée Analyse des Risques de Fonctionnement. C'est une prolongation du module A, où l'on approfondit les mécanismes de dysfonctionnement et où l'on positionne les mesures d'élimination, de contrôle et de mitigation qui doivent être pris en compte. Ce niveau d'analyse microscopique ne fait pas partie de notre démarche méthodologique et ne fera pas objet d'explication dans ce document.

1.3.1. Le module A

Le module A est constitué par cinq activités qui permettent de réaliser une Analyse Principale de Risque. Ces cinq activités se présentent originellement de manière successive, mais l'analyste peut générer des séquences différentes. La séquence définie par l'observateur sera entre autres choses en relation avec le type d'installation étudiée, le contexte et/ou les obligations normatives.

A partir de cette conception de boîte à outils nous pouvons identifier cinq niveaux d'analyse :

Niveau 1 : Identification des dangers et génération des scénarios des principaux accidents.

Niveau 2 : Définition des dangers en identifiant ou non des scénarios des principaux accidents et définition directe des barrières pour leur administration.

Niveau 3 : Evaluation des risques d'une installation lors de la phase de conception.

Niveau 4 : Etude du risque que représente une installation existante.

Niveau 5 : Traitement des risques principaux d'une installation, devenant le cœur d'une étude de danger.

1.3.1.1. *Activité 1A. Représentation de l'installation*

Cette activité a pour objet de dérouler la complexité d'un système (système général) à travers la sélection des critères de décomposition (correspondance homomorphique). Nous suggérons l'utilisation des typologies fonctionnelles et structurelles comme critères de sélection.

La définition du sous-système est fixée par l'analyste en fonction de l'information disponible, des outils présents et des nécessités de l'analyse. De même, la décomposition d'un système en sous-systèmes doit respecter trois principes : avoir un nombre limité de sous-systèmes, chaque sous-système doit avoir cinq critères qui le définissent (structure, finalité, fonction, environnement et évolution) et l'on doit trouver tous les éléments de l'installation en additionnant les sous-systèmes (correspondance isomorphique)

1.3.1.2. *Activité 2A. Identification des dangers et des scénarios d'accidents*

Cette activité permet l'identification des événements non souhaités qui peuvent mettre en évidence les dangers qui font partie de chacun des systèmes et permet de générer les scénarios plausibles accidents. Le processus se décompose en trois phases qui sont : l'identification des sous-systèmes sources de danger, l'identification des événements non souhaités et l'identification des scénarios des accidents plausibles.

1.3.1.2.1. *L'identification des systèmes source de danger*

En partant des systèmes obtenus en déroulant la complexité et l'environnement où ils se trouvent, il est possible d'identifier de manière systématique les systèmes de l'installation qui peuvent devenir des sources de danger. MOSAR propose la grille 1 comme liste exhaustive de dangers (Figure 9).

SOURCE DE DANGER		SOURCE DE DANGER	
A	Systèmes Sources de Danger d'Origine Mécanique	E	Systèmes Sources de Danger Thermique et de Rayonnements
A.1	Appareils sous pression	E.1	Ionisants
	Gaz	E.1.1	Alpha, Bêta, Gamma, X
	Vapeur mixte	E.1.2	Neutrons
	Hydraulique	E.1.3	Contamination
A.2	Éléments sous contraintes mécaniques	E.1.4	Criticité
A.3	Éléments en mouvement	E.2	Sources thermiques
	Solides	E.2.1	Conduction thermique
	Liquides	E.2.2	Rayonnement UV, IR, visible
	Gaz	E.3	Lasers
A.4	Éléments nécessitant une manutention	E.4	Micro-ondes
	Manuelle	E.5	Champs Magnétiques
	Mécanique		

A.5	Systèmes sources d'explosions d'origine physique autres que A.1	F	Systèmes Sources de Danger Biologique
A.6	Systèmes sources de chute de hauteur	F.1	Virus, Bactéries
A.7	Systèmes sources chute de plain-pied	F.2	Toxines
A.8	Autres systèmes sources de blessures		
A.9	Systèmes sources de bruit et de vibrations	G	L'Homme Système Source de Danger
	Systèmes Sources de Danger d'Origine Chimique	G.1	Situation Normale
B	Systèmes sources de réactions chimiques	G.2	Malveillance
B.1			
B.2	Systèmes sources d'explosions En milieu condensé	H	Système Sources de Dangers Liés à l'Environnement
	En phase gazeuse	H.1	Inondations
		H.2	Foudre
B.3	Systèmes sources de toxicité et agressivité	H.3	Circulations aérienne-routière
B.4	Systèmes sources de pollution de l'atmosphère et d'odeurs	H.4	Autres industries environnantes
B.5	Systèmes sources de manques d'oxygène	H.5	Séismes
		H.6	Autres sources de danger naturel (gel, chutes diverses, etc.)
C	Systèmes Sources de Danger d'Origine Électrique		
C.1	Électricité à courant ou alternatif	I	Systèmes Sources de Danger d'Origine Économique et Sociale
C.2	Électricité statique	I.1	Finances
C.3	Condensateurs de puissance	I.2	Migration
C.4	Hautes fréquences	I.3	Conflits
		I.4	Criminalité - violence
D	Systèmes Sources de Danger d'Incendie	I.5	Grand rassemblements

Figure 9. Systèmes sources de danger dans la fabrication, le stockage, le transport ; de matière, d'énergie, d'information (classification également appelée grille 1) [21]

La grille 1 n'est qu'une typologie de dangers où l'on trouve les dangers d'origine mécanique, chimique, électrique, incendie, radiation, biologiques, humains liés à l'environnement actif et socio-économique. Ce guide exhaustif explore trois questions primaires : le sous-système représente-il un danger ? Quel type de danger représente-t-il ? Durant quelle phase de vie ce danger peut-il se manifester ?

1.3.1.2.2. *Identification des événements non souhaités*

En partant des sous-systèmes sources de danger il est possible d'identifier les événements non souhaités au travers du tableau A. C'est dans ce tableau que l'on présente les événements initiateurs (internes ou externes), les événements initiaux (liés à la structure ou au contenu) et le flux MEI résultant.

1.3.1.2.3. *Identification des scénarios d'accidents plausibles*

Basés sur les événements non souhaités définis lors de l'étape précédente et utilisant le concept de boîte noire, d'arbres

logiques et/ou de matrices d'interaction, il est possible de déterminer les scénarios des accidents plausibles.

Pour chaque système source de danger on construira une boîte noire en plaçant dans les entrées de celle-ci les événements initiateurs et à la sortie ses flux de danger. On recherche alors pour chacune de ces boîtes noires les scénarios d'accident court et autodestruction. On peut alors déterminer les différentes interactions entre les sous-systèmes, extrayant au travers des arbres logiques une séquence d'accidents plausibles. Dans certains cas, ce processus graphique à travers l'utilisation de boîtes noires peut être compliqué et générer des bruits supplémentaires. C'est pour cette raison que nous avons directement réalisé les arbres de défaillances à partir du tableau A. Cette dernière démarche doit être validée comme une correspondance isomorphe entre le tableau A et les arbres de défaillance.

1.3.1.3. Activité 3A. Evaluer les risques.

Le but de cette activité est de déterminer les scénarios d'accidents plausibles. Cette activité se décompose en deux phases : la sélection des critères d'évaluation et l'évaluation des scénarios possibles.

Sélection des critères d'évaluation

La sélection des critères d'évaluation détermine les approximations qualitatives ou quantitatives. La sélection de ses critères est en relation entre les objectifs de l'étude, l'information disponible, sa complexité et les nécessités normatives.

Evaluation des scénarios

Celle-ci détermine la possibilité d'occurrence des scénarios plausibles au travers des critères de sélection déterminés (contrat social) et l'utilisation des outils de sélection (calculs, retour d'expérience, etc.).

1.3.1.4. Activité 4A. Négociation des objectifs de prévention.

L'activité 4A est un espace où l'on peut mettre en avant le contrat social. Elle a comme objectif la détermination des risques que l'on peut assumer et les objectifs de prévention/protection⁴. Cette activité se décompose en trois étapes : la détermination d'une grille de gravité x probabilité, la négociation de la grille, et la localisation des scénarios d'accidents dans la grille.

Détermination d'une grille gravité x probabilité

Il existe actuellement différentes propositions de grilles (qualitatives et/ou quantitatives) ; elles peuvent être choisies et utilisées à la

⁴ La proposition originale de MADS/MOSAR, ne concerne que les objectifs de prévention/protection mais nous considérons qu'ils sont insuffisants et qu'il faut les amplifier sur des objectifs d'élimination / prévention / contrôle / limitation / réduction/mitigation.

discrétion des utilisateurs pour en définir la structure et les échelles. Il faut néanmoins signaler que certains instruments législatifs proposent (voire imposent) des grilles qui doivent être respectées.

Processus de négociation de la grille de gravité x probabilité

Celui-ci fait référence à la définition de la ligne d'acceptabilité, tolérance et d'assumabilité des risques par les acteurs impliqués dans le processus (contrat social). Comme nous l'avons déjà signalé quelques instruments législatifs ont parfois clairement défini ces limites [22].

Localisation des scénarios d'accidents sur la grille

Pour positionner les scénarios plausibles sur la grille de gravité x probabilité, il est nécessaire d'utiliser le retour d'expérience et/ou des outils statistiques. La localisation des scénarios va offrir une nouvelle vision des risques qui pourra s'ouvrir sur une nouvelle discussion du contrat social.

1.3.1.5. *Activité 5A. Définition des barrières*

Cette dernière activité du module A permet d'identifier les barrières à positionner sur les flux de danger. Ces barrières permettent de rendre les risques plus acceptables, tolérables et assumables. Ce travail ne peut pas être réalisé sans des étapes de définition et de qualification des barrières.

MOSAR propose la liste 2 et les tableaux B, C et D comme outils systématiques pour réaliser ce travail. Cela dépend bien entendu du système et de la phase de vie analysée. Cet outil permet de déterminer les objectifs de prévention/protection. La proposition originale de MOSAR prend en compte les barrières technologiques et d'utilisateur. Nous considérons cette proposition comme insuffisante nous allons donc proposer une classification plus étendue des systèmes de barrières.

Chapitre 2 : La problématique du secteur minier

“L’hécatombe du travail qui représente 1,1 million de morts, dépasse la moyenne annuelle de décès liés aux accidents de route (999 000), aux guerres (563 000) et au Sida (312 000). Environ un quart de ces morts est produit par l’exposition à des substances dangereuses qui causent des maladies comme le cancer ainsi que des maladies cardiovasculaires, respiratoires et du système nerveux. Il est actuellement prévu que les maladies liées au travail causeront deux fois plus de victimes en 2020. Les estimations modérées montrent que les travailleurs ont actuellement environ 250 millions d’accidents de travail et 160 millions de maladies professionnelles par an. Les décès et les lésions graves sont très nombreux dans les pays en voie de développement, où il existe de grandes quantités de travailleurs dans des activités primaires et d’extraction, comme l’agriculture, l’exploitation des forêts, la pêche et le travail des mines qui sont les industries les plus dangereuses du monde”

J. Takala [23]

Introduction

La demande en matières premières est fortement liée au dynamisme de l'économie mondiale. Nous pouvons noter que depuis 2003, le secteur minier mondial présente un développement soutenu lié à la croissance économique des Etats-Unis et de la Chine. C'est grâce à cette logique de marché que les projets d'exploitations minières se dynamisent et génèrent de fortes interrelations entre les trois dimensions : territoire-technologie-conditions socioéconomiques.

Dans ce chapitre, nous présenterons brièvement le contexte lié au secteur minier colombien qui inclut des thèmes tels que : le commerce de minéraux, les échelles de productions, les projections nationales à 2019, le cadre législatif national minier et les dangers liés à l'activité minière.

2.1. Première contrainte : globalisation vs. stratégie multi-locale

Le commerce des produits miniers des pays latino-américains fut fondamentalement modifié durant les années 90, lorsque les différents gouvernements privilégièrent le développement de leurs économies, c'est-à-dire qu'ils renoncèrent au schéma de coopération internationale pour la régulation des prix et pour le commerce des matières premières. Ces nouvelles politiques régionales furent propices à l'arrivée de multinationales minières dans des contextes sociopolitiques fragilisés.

D'après un rapport du gouvernement colombien, le marché mondial de matières premières issues des secteurs miniers serait contrôlé par une quarantaine d'entreprises qui explorent, fondent, raffinent et vendent des métaux [24]. Cette globalisation du marché ne signifie pas l'adoption d'une stratégie corporative globalisée en termes de protection à l'environnement, des travailleurs et de la population. Il émerge alors une stratégie multi-locale qui dépend des exigences des pays dans lesquels ils opèrent. Nous n'avons pas de retour d'expérience sur l'utilisation de cette pratique corporative dans le secteur miniers, mais ce phénomène est bien documenté dans le cas de différentes investigations d'accidents dans le secteur de la chimie [25].

L'investissement de capitaux étrangers est nécessaire au développement de projets miniers dans les pays émergents. Mais, attirer l'attention des investisseurs ne dépend pas uniquement d'une excellente prospective métallographique et géologique mais également de l'ensemble des garanties qu'est capable d'offrir le pays. C'est pour cela que se sont développés des indicateurs d'investissements, comme celui présenté annuellement par *The Fraser Institute* dans le *Mining Survey*, qui détermine les niveaux d'investissements étrangers.

Un indicateur de ce type incorpore différentes dimensions comme : l'incertitude sur la normalisation, la multiplication des réglementations, les règlements environnementaux, les zones protégées, les demandes territoriales, les taxes, les infrastructures présentes, la réglementation du travail, la stabilité politique, les accords socioéconomiques, la réglementation et la gestion des plans d'urbanisation vis-à-vis de l'exploitation des minerais présents. La Figure 10 présente l'indice

d'attractivité d'investissements pour quarante sept territoires qualifiés comme prometteurs en 2003 [26].

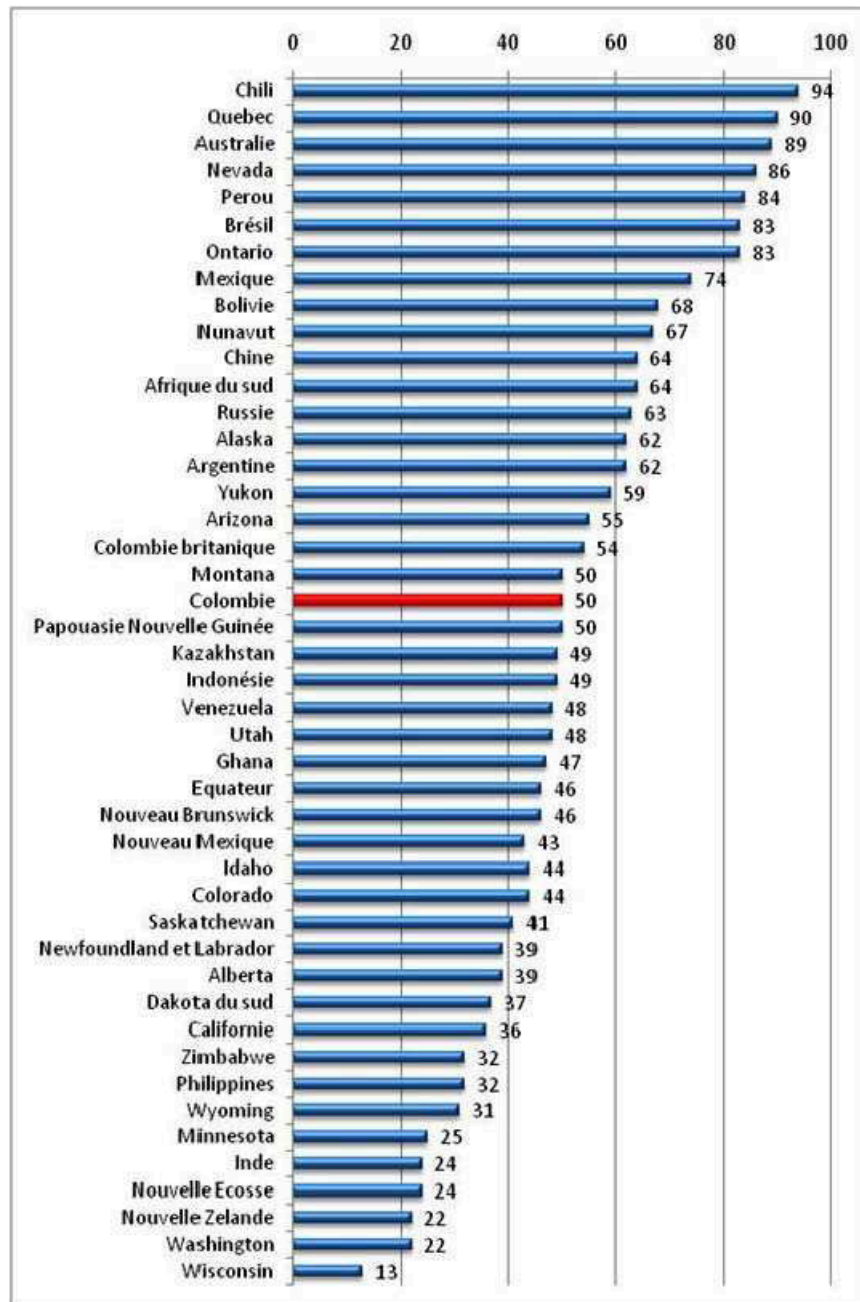


Figure 10. Indice d'attractivité d'investissement

Nous pouvons aisément noter le remarquable intérêt d'investissements pour les pays sud-américains. Nous pouvons également noter qu'au début des années 90 l'Amérique latine recevait 12% des investissements mondiaux liés aux secteurs miniers et que cette valeur a fortement progressée pour arriver à 29% au début des années 2000 (Figure 11) [27].

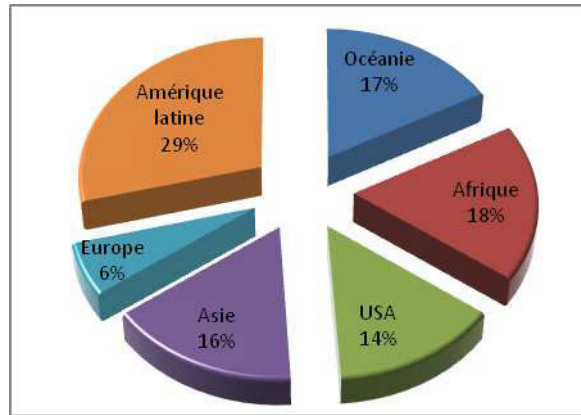


Figure 11. Pourcentages mondiaux d'investissement dans le secteur minier 2001-2007 [27]

Les plus hauts niveaux d'investissements pour l'Amérique latine sont liés à l'exploitation de minéraux métalliques et non métalliques, principalement : cuivre, or, nickel, zinc, mercure, pierres précieuses, fer et platine (Figure 12). L'exploitation de combustibles solides n'est pas prise en compte dans les rapports de la Commission Economique pour l'Amérique Latine (CEPAL), mais celles-ci attirent d'importants niveaux d'investissements étrangers directs.

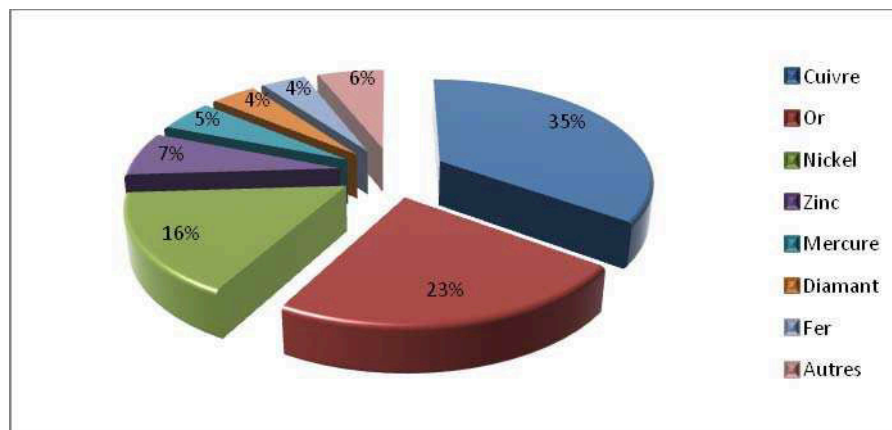


Figure 12. Pourcentages d'investissements par produit, 2001-2007 [27]

Si le marché de produits miniers est contrôlé par quelques multinationales, les procédés d'extraction ne répondent pas à la même logique. Une des particularités de l'activité d'extraction de minéraux est l'inexistence de brevets liés aux technologies utilisées. Cela signifie que l'extraction d'un minerai dans un pays ne nécessite que la conjonction entre : l'existence du minerai, la demande des marchés, et la détermination de la population. Cette hétérogénéité peut conduire à ce que les administrateurs locaux (voire nationaux) soient débordés par la variété des techniques d'exploitation et des échelles de production, sans oublier tous les dangers qui y sont liés.

2.2. Seconde contrainte : échelle vs. impacts

Le secteur primaire des pays émergents a la particularité de la diversité dans les échelles de production. Des petits producteurs (comparables aux minifundios)

constituent une part fondamentale de la structure socio-économique nationale et rivalisent sans aides économiques avec les grands producteurs (comparables à des latifundios). C'est essentiellement dans ces exploitations de petites tailles que l'on retrouve les mines souterraines colombiennes.

On reproche souvent aux exploitations minières de petites tailles des pays émergents d'exploiter la richesse nationale sans une contribution économique significative [28]. Mais cette activité quasi ancestrale fournit du travail à environ un million de petits mineurs en Amérique latine et des pays comme la Colombie ont reconnus le droit de quelques minorités ethniques sur leurs ressources minières sans que cela ne puisse être remis en cause. Il est donc nécessaire de ne pas se limiter aux simples indices d'évaluation monétaire et d'incorporer des indicateurs qui incluent la complexité socioéconomique de la tradition minière andine.

Un des avantages des petites exploitations est leur possibilité de récupération des déchets et/ou queues d'exploitation. Ces récupérations peuvent être faites aussi bien sur les sites des grands producteurs en activité que sur des sites abandonnés. Par exemple, une part importante de la production d'étain des mines boliviennes est issue des petits exploitants qui travaillent sur des sites abandonnés par la COMIBOL. La COMIBOL ne récupérait qu'entre 40 à 50% de l'étain présent ; les petites entreprises utilisent des techniques peu mécanisées qui permettent d'être économiquement viables là où ne l'était pas la grande entreprise nationale [28].

Le coût environnemental des petits producteurs est très important à cause du grand nombre d'exploitations présentes sur un territoire mais également à cause de la faible technicité et de la culture minière traditionnelle. Un exemple est le cas des contaminations au mercure causées par le travail de mines aurifères tout le long de l'Amérique du Sud, faisant peser des risques importants sur des écosystèmes fragiles classés comme patrimoine mondial.

Le travail dans des petites exploitations minières présente une forte relation entre les conditions de travail et les conséquences négatives potentielles sur la santé du mineur. Les conditions de travail sont caractérisées par des journées interminables, des ambiances de travail extrêmes souvent accompagnées de graves déficiences de sécurité voire d'un abandon institutionnel. Les conséquences sur la santé du travailleur peuvent être directes : troubles musculo-squelettiques, asphyxies, anoxies, pneumoconioses, etc. voire liées à des affections opportunistes : intoxications de tous types, paludisme, Sida, etc.

La volonté ou nécessité d'une exploitation rapide et souvent le défaut chronique du capital d'investissement positionnent souvent les petits mineurs dans des relations compliquées de dépendance avec les intermédiaires propriétaires des machines. Il faut noter qu'il existe très fréquemment une relation de pouvoir non équitable entre les petits mineurs et les intermédiaires possesseurs de la technologie et des investissements. L'exploitation minière peut même générer un changement dans le système des valeurs éthiques qui peut conduire à l'extrême à une perte de contrôle de la part du pouvoir exécutif. Des confrontations entre les habitants, les

communautés indigènes, les forces armées légales et groupes hors la loi, peuvent être assez fréquentes (ex. Serra Pelada/Brésil, Muzo/Colombie, Nambija/Equateur, Mindanao/Philippines) [28].

D'après les informations de l'Organisation Internationale du Travail (OIT) [29], on estime que le travail dans des petites mines produit des emplois directs pour approximativement 6 millions de personnes au travers le monde dans les activités d'exploitation et concentration de minéraux, cette valeur peut atteindre 50 millions de personnes lorsque l'on y ajoute les secteurs d'infrastructure et de services. De plus, les petits producteurs exercent un effet tampon sur le marché de travail national, un exemple est le cas bolivien, où le travail dans des petites mines a absorbé plus de 20.000 mineurs qui avaient perdu leurs emplois.

Une relation difficile à identifier et à chiffrer est celle du commerce et des activités illicites de métaux ou pierres précieuses. Ces activités génèrent une prolifération d'acteurs et d'intermédiaires, on ne peut que difficilement établir les liens existants entre ces activités et les petites entreprises. Des exemples de ce type de marché parallèle sont le trafic d'or en Afrique et Amérique du sud ainsi que le blanchiment d'actifs produit d'activités illégales et le financement de groupes armés hors la loi.

Un « avantage » des petites exploitations minières dans un pays émergent est le faible coût de production, ce qui a pour conséquence une offre relativement stable, même avec des fluctuations de prix. Les petites exploitations minières colombiennes peuvent par exemple produire du charbon de cokerie de première qualité pour une valeur de 8 à 10 dollars la tonne, même avec une petite capacité d'exploitation.

C'est dans ce contexte mondial que s'inscrit l'exploration du territoire colombien dans un but de recherche et d'extraction de minéraux valorisables et/ou exportables. Cette dynamique économique demande aux différentes autorités nationales de coordonner leurs efforts pour tenter de protéger l'environnement, les travailleurs et les populations présentes aux alentours des exploitations afin de garantir une gestion durable des richesses présentes dans le pays.

2.3. Le travail dans les mines colombiennes

La Colombie est l'un des pays andin ayant la plus faible tradition minière, mais c'est par contre le pays possédant les plus grandes réserves minières. Elle combine les potentiels géotectoniques et métallogéniques des systèmes guyanais et andin générant des opportunités d'exploitation en : or, argent, platine, émeraudes, nickel, cuivre, fer, manganèse, plomb, zinc, titane, sel terrestre, sel marin, sables, argiles, calcaires, soufre, baryte, bentonite, feldspaths, amiante, magnésite, plâtre, roche phosphorique, roches ornementales et charbon (Figure 13).



Figure 13. Régions géomorphologiques de Colombie [30]

2.3.1. Dimension économique

Le bulletin statistique 1999-2005 [31] du bureau colombien des mines et de l'énergie montre que le secteur minier est en pleine croissance depuis quelques années, arrivant à des valeurs de 5,31% par an. En dépit de sa croissance soutenue, sa participation dans le PIB national n'est que de 3% en 2006 (Figure 14).

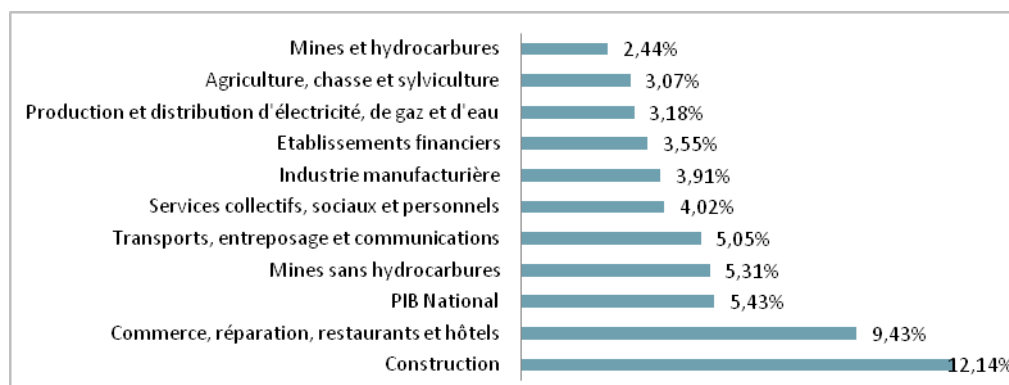


Figure 14. Variation du PIB annuel en fonction des secteurs d'activités colombiens 2005 [31]

En 2005 les exportations du secteur minier étaient de l'ordre de 4300 millions de dollars, avec une croissance de 29,6% (représentant 20,35% du total des exportations nationales) [31]. La dynamique de croissance de ce secteur d'activité est actuellement entretenue par le charbon et le ferronickel.

Nous retrouvons en Colombie la présence de conglomérats internationaux tels que Drummond, BHP Billiton, Glencore, Cemex, Angloamerican Coal, Greystar Resources, Anglogold Ashanti et Franklin Mining. Les investissements de ces groupes ont atteints plus de 4000 millions de dollars pendant la période 2003-2005.

Cette extraction à grande échelle a un impact significatif sur les finances de l'état en générant des impôts et taxes (Figure 15). C'est au travers de la loi n°141 de 1994, que l'état colombien a établi les règles de distribution de ce type de ressources. Une partie de ses ressources est ainsi directement donnée par la nation aux différentes communes où se déroulent des opérations d'extraction.

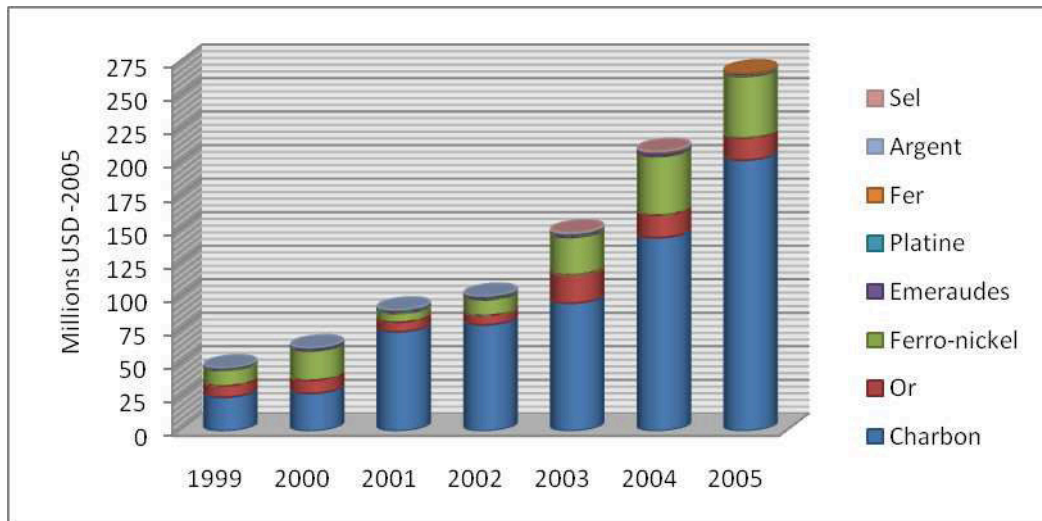


Figure 15. Evolution de l'apport d'impôts et taxes par type d'industries minières 1999-2005 (millions USD -2005-) [31]

L'ASOMINEROS (association colombienne des mineurs) estime que les exploitations légales génèrent 200 000 emplois directs et indirects. Il n'existe pas d'estimations officielles sur le nombre d'emplois liés au travail dans mines non déclarées, mais la même association parle d'une possible existence de 15.000 exploitations illégales. Une des caractéristiques de ce type d'exploitation, c'est le nombre de personnes qui y évolue (10 à 30) et nous pouvons donc dire qu'approximativement 150.000 à 450.000 personnes y travaillent de manière directe. Ce type d'exploitations a très souvent un caractère familial et l'on estime qu'environ 103.000 enfants travaillent quotidiennement dans les mines et que 97.000 sont potentiellement incorporables dans ce monde du travail [32].

2.3.2. Vision 2019

Avec une superficie terrestre de 1.038.700 km² carrés, divisé en 32 départements, 1.098 municipalités et avec une configuration géotectonique intriquée, l'administration des ressources minières dans les différentes régions du pays est assez complexe. Pour pallier à ces inconvénients, le gouvernement colombien a décidé de diviser le territoire en districts miniers. Un district minier est lié à une municipalité ou à un groupe de municipalités où se situe un grand nombre de producteurs exploitant ou travaillant un minerai ou un groupe de minerais. Les critères utilisés pour cette répartition sont : le minerai, la quantité de production, le degré de concentration d'opérations et la tradition minière de la zone (Tableau 9).

District minier	Municipalités	Département	Produit minier
Barrancas	Barrancas, Maicao, Hato Nuevo et Albania.	La Guajira	Charbon
La Jagua	Becerril, El Paso, Codazzi, La Jagua et La Loma.	Cesar	Charbon
Sabana de Bogotá	Bogotá D.C., Bojacá, Chía, Gachancipá, Guasca, La Calera, Madrid, Mosquera, Nemocón, Sibaté, Soacha, Sopó, Subachoque, Tabio, Tenjo et Tocancipá.	Cundinamarca	Matériaux de construction, argile, autres
Paz del Río	Belén, Corrales, Duitama, Firavitoba, Iza, Jericó, Monguí, Nobsa, Paipa, Paz de Río, Pesca, Santa Rosa de Viterbo, Socotá, Socha, Tasco, Tibasosa, Tópaga.	Boyacá	Calcaire, charbon, minerais de fer, roches phosphoriques et autres
Luruaco	Arjona, Cartagena, Luruaco, Repelón, Puerto Colombia, Turbaná et Turbaco.	Atlántico y Bolívar	Calcaire, matériaux de construction et autres
Ataco-Payandé	Ataco, Chaparral, Coello, Coyaima, El Carmen de Apicalá, Espinal, Flandes, Guamo, Ibagué, Melgar, Rovira, Saldaña, San Luis et Valle de San Juan.	Tolima	Calcaire, matériaux de construction et autres
El Tambo-Dovio	Bolívar, Buenaventura, Buenos Aires, Buga, Bugalagrande, Caicedonia, Cali, Candelaria, El Dovio, El Tambo, Guacarí, Ginebra, Jamundí, Puerto Tejada, Sevilla, Suárez, Vijes y Yumbo.	Cauca y Valle del Cauca	Calcaire, matériaux de construction, charbon, or, argent, platine et autres
Zipaquirá	Cogua, Cucunubá, Guachetá, Lenguazaque, Samacá, Sutatausa, Tausa et Zipaquirá.	Cundinamarca	Charbon, sables, sel terrestre et autres
Amagá -Medellín	Amagá, Angelópolis, Fredonia, Itagüí, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota, Titiribí et Venecia.	Antioquia	Matériaux de construction, charbon, argiles
El Zulia	Cúcuta, Chinácota, Chitagá, El Zulia, Los Patios, Pamplona, Salazar, San Cayetano, Sardinata, Tibú et Villa del Rosario.	Norte de Santander	Argiles, calcaire, charbon, roche phosphorique
Puerto Nare	Puerto Berrío, Puerto Triunfo, San Luis et Sonsón.	Antioquia	Calcaire, argile ferrugineux
Oriente Antioqueño	Abejorral, La Unión, Carmen de Viboral, Rionegro.	Antioquia	Matériaux de construction, calcaire, kaolin et argiles
Montelíbano	Buenavista, La Apartada, Montelíbano, Planeta Rica, Pueblo Nuevo et Puerto Libertador.	Córdoba	Charbon, ferronickel, or et argent
Los Santos	Curití, Los Santos, Villanueva et Zapatota	Santander	Plâtre, calcaire
Nordeste Antioqueño	Amalfi, Anorí, Cáceres, Caucasia, El Bagre, Nechí, Maceo, Remedios, San Roque, Segovia, Tarazá et Zaragoza.	Antioquia	Calcaire, argiles, or
Frontino	Abriaquí, Anzá, Buriticá, Dabeiba, El Carmen de Atrato, Frontino, Murindó, Mutatá et Urrao.	Antioquia	Plâtre, manganèse, concentré de cuivre, or, argent et platine
Marmato	Marmato, Quinchía et Supía.	Caldas y Risaralda	Or, argent
Santa Rosa	San Pablo, Santa Rosa del Sur et Simití.	Bolívar	Or et argent
Istmina	Bagadó, Condoto, Istmina, Sipí y Tadó.	Chocó	Or, argent et platine
Costa Pacífica Sur	Barbacoas, Guapi, López de Micay, Magüí, Santa Bárbara (Iscuandé) et Timbiquí.	Cauca y Nariño	Or, argent et platine
San Martín de Loba	San Jacinto de Achí, San Martín de Loba, Barranco de Loba, Río Viejo, Montecristo, Morales, Pinillos et Tiquisio.	Bolívar	Or et argent
La Llanada	Cumbitara, La Llanada, Los Andes, Mallama, Samaniego et Santacruz .	Nariño, Nariño	Or et argent
Vetas	California, Vetas.	Santander	Or et argent
Mercaderes	Almaguer, Balboa, Bolívar, Mercaderes et El Tambo.	Cauca et Nariño	Or et argent
Muzo	Coper, Briceño, La Victoria, Maripí, Muzo, Otanche, Pauna, Quípama, San Pablo de Borbur, Yacopí.	Boyacá et Cundinamarca	Emeraudes
Chivor	Chivor, Gachalá, Guateque, Somondoco, Ubalá	Boyacá et Cundinamarca	Emeraudes

Tableau 9. Districts miniers, juridictions municipales et minéraux produits [33]

Pour la fiscalisation de ces districts miniers, le gouvernement national a désigné l'Institut Colombien de Géologie et du Travail des Mines

(INGEOMINAS) qui gère ses actions au travers des délégations d'Antioquia, de Caldas, de Boyacá, de Norte de Santander et de Cesar. Par le décret n°3577 de 2004, cet institut est également chargé de la vigilance régionale des travaux miniers, du sauvetage, de la gestion des ressources et de la prospection.

Issue du même décret, l'unité de planification de l'énergie minière (UPME), liée au bureau des mines et de l'énergie a dessiné un plan d'expansion du secteur : "scénarios et stratégies : travail des mines et énergie" [30]. Ce document de travail est un document prospectif des mines colombiennes à 2019, il donne les objectifs de productions pour les minerais ayant un intérêt stratégique pour le pays.

Son objectif est de transformer l'actuelle industrie minière colombienne en une des plus importantes d'Amérique latine et d'amplifier significativement sa participation dans l'économie nationale. Le gouvernement colombien a décidé des principes suivants pour atteindre ce scénario de compétitivité minière nationale :

- Profiter des incroyables ressources présentes sur le territoire.
- Attirer un grand nombre d'investisseurs.
- Augmenter les bénéfices liés à l'activité minière.

Le concept de durabilité est bien mentionné dans la présentation générale du plan, mais il n'est pas fait état de son caractère économique pour les points susmentionnés. Il est également étonnant de ne pas voir figurer dans ce plan de relations entre les conditions d'exploitations et les impacts des risques qui y sont liés.

Les intérêts nationaux se focalisent principalement sur le charbon et les métaux précieux, devenant les produits de référence pour l'évaluation du plan. Nous allons maintenant regarder avec attention les niveaux estimés de production afin de nous faire une idée des risques associés qui peuvent être générés en cas d'intensification de l'activité.

2.3.2.1. L'exploitation du charbon

Doubler l'actuel volume de production du charbon [30] : ces estimations ont comme base les prévisions de production des entreprises minières qui opèrent dans les districts de Barrancas et La Jagua, et le comportement historique de production de chacun des districts situés au centre du pays pendant la période 1998 à 2005 (Figure 16).

Les niveaux de production estimés pour les années à venir sont réalistes, car les calculs ont comme base les projets d'exploitation et les plans d'expansion en cours. D'après l'information du World Coal Institute, des valeurs proches de 120,7 millions de tonnes par an, positionneraient au niveau mondial la Colombie parmi les cinq premiers producteurs de charbon.

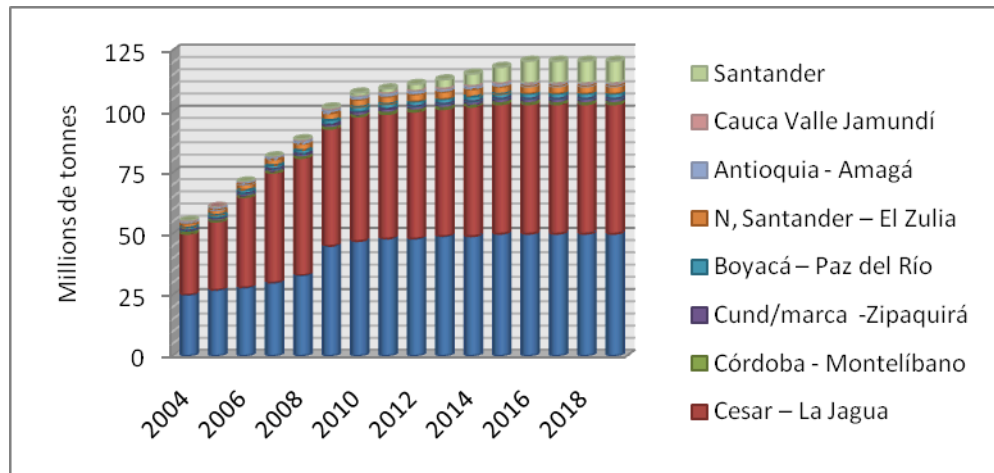


Figure 16. Estimation de la production colombienne de charbon par district (millions de tonnes), 2004-2019⁵

2.3.2.2. *L'exploitation des métaux précieux*

Quadrupler la production de métaux précieux [30] : L'unité de planification de l'énergie minière (UPME), a quantifié cet objectif en se basant sur les projections de production d'or de treize districts, ce qui représente environ le 94% de la production nationale (Figure 17).

Pour donner un ordre de grandeur, il faut mentionner que le plus grand producteur mondial d'or est l'Afrique du Sud, qui a enregistré en 2006 une production de 275 tonnes par an. D'après les projections faites par l'unité de planification de l'énergie minière, la Colombie deviendrait l'un des principaux producteurs avec une projection de 231 tonnes en 2019. Nous ne disposons pas des valeurs estimées pour la production d'autres métaux précieux comme l'argent ou le platine, mais les perspectives métallogéniques donnent de l'espoir.

⁵ Chiffres UPME, 2006 Colombie : pays minier. Calculs LSGC-CNRS.

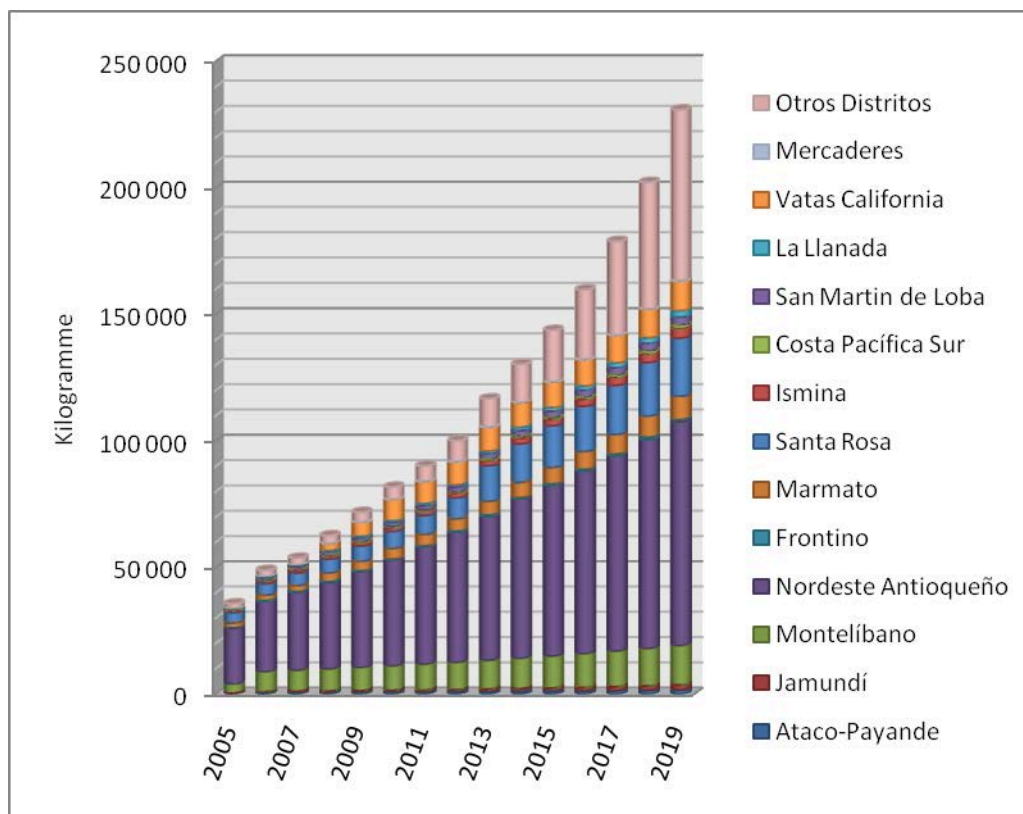


Figure 17. Projection de la production colombienne d'or par district (en kilogramme) 2005-2019⁶

2.3.3. Le cadre réglementaire minier colombien

Pour l'organisation des investissements nationaux et internationaux dans le pays, le gouvernement national colombien a développé un cadre réglementaire minier moderne, régit par le code des mines [34]. Le modèle de ce nouveau cadre d'action donne à l'état un rôle facilitateur du travail minier laissant l'opération à des investisseurs privés. Les aspects normatifs les plus intéressants de ce nouveau cadre juridique sont :

- Contrat unique de concession minière
- Équité entre entreprises nationales et étrangères
- Premier arrivé, premier en droits
- Aires de concession jusqu'à 5.000 ha en courant ou lits d'eau et jusqu'à 10.000 ha pour les autres types de terrain
- 30 ans de contrat (prorogeable)
- Stabilité dans les conditions négociées des privilèges et concession
- Simultanéité entre études, travaux d'exploration technique et viabilité environnementale de l'exploitation
- La prospection minière de surface qui ne nécessite pas d'autorisation environnementale

⁶ Chiffres UPME, 2006 Colombie : pays minier. Calculs LSGC-CNRS.

- Titre minier négociable entre particuliers
- Cohérence institutionnelle nationale (interlocuteur unique)
- Coordination entre bureaux identifiés à la tête du Bureau des mines et de l'énergie

Le code des mines parle non seulement du cadre général des concessions, mais montre et coordonne l'interaction avec la jurisprudence environnementale et d'ordre territorial. C'est à partir de cette relation de jurisprudences qu'émerge l'acceptabilité de risques par l'état colombien, sous les principes de durabilité⁷ et de production plus transparente⁸ (Tableau 10).

Cadre légal minier Loi 685 de 2001	Cadre légal environnemental Loi 99 de 1993	Cadre légal territorial Loi 388 de 1997
<ul style="list-style-type: none"> • Registre minier • Normes et réglementations complémentaires • Démarches minières • Moyens et instruments miniers et environnementaux • Démarches environnementales 	<ul style="list-style-type: none"> • Licence environnementale • Autorisations environnementales • Compétence environnementale • Normes environnementales générales 	<ul style="list-style-type: none"> • Plan d'ordre territorial • Instruments de planification physique • Instruments de planification juridiques • Instruments de planification économiques

Tableau 10. Le cadre légal minier environnemental [35]

2.3.3.1. *Le cadre législatif minier colombien*

Le cadre juridique minier est défini par la loi n°685 de 2001 (Code des mines), qui "a comme objectifs d'intérêt public d'organiser l'exploration technique et l'exploitation des ressources minières de propriété étatique et privée ; de stimuler ces activités pour satisfaire aux demandes nationales et internationales et que le profit soit géré en harmonie avec des principes et normes d'exploitation rationnels des ressources naturelles non renouvelables et de l'environnement dans un concept intégré de développement durable et du renforcement économique et social du pays" [34].

Son application "règle les relations juridiques de l'état avec les particuliers et entre les particuliers, liées aux travaux et œuvres de l'industrie minière dans ses phases de prospection, exploration, construction et montage, exploitation, enrichissement, transformation, transport et promotion des minéraux qui se trouvent dans le sol et le sous-sol, dans la propriété nationale ou dans une propriété privée. S'excluent l'exploration et exploitation d'hydrocarbures liquides et gazeux qui sont régis par les dispositions spéciales" [34].

La complexité du secteur minier colombien se retrouve au sein de son nouveau code minier, matérialisant le paradoxe entre une culture

⁷ Ministère des Mines et de l'Énergie

⁸ Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et du Développement Territorial

traditionnelle minière et les nécessités de l'état à assumer son rôle d'administrateur (Tableau 11).

Structure générale de la loi n°685 de 2001 Code des mines	
<ul style="list-style-type: none"> • Titre Premier: Dispositions Générales <ul style="list-style-type: none"> ○ Chapitre I : Propriété étatique ○ Chapitre II : Droit d'explorer et d'exploiter ○ Chapitre III : Zones de réserve, exclues et restreintes ○ Chapitre IV : Prospection • Titre Second: La concession de mines <ul style="list-style-type: none"> ○ Chapitre V : Le contrat de concession ○ Chapitre VI : Aire de la concession ○ Chapitre VII : Durée de la concession ○ Chapitre VIII : Les travaux d'exploration ○ Chapitre IX : Construction et montages miniers ○ Chapitre X : Œuvres et travaux d'exploitation ○ Chapitre XI : Opération conjointe ○ Chapitre XII : Finalisation de la concession • Titre Troisième : Régimes spéciaux <ul style="list-style-type: none"> ○ Chapitre XIII : Matériaux pour voies de communication ○ Chapitre XIV : Groupes ethniques ○ Chapitre XV : Travail des mines marines • Titre quatrième : Travail des mines sans titre <ul style="list-style-type: none"> ○ Chapitre XVI : Travail de mines occasionnel ○ Chapitre XVII : Exploration et exploitation illicite de mines 	<ul style="list-style-type: none"> • Titre cinquième : Aspects externes au travail des mines <ul style="list-style-type: none"> ○ Chapitre XVIII : Servitudes minières ○ Chapitre XIX : Expropriation ○ Chapitre XX : Aspects environnementaux • Titre sixième : Aspects économiques et sociaux du travail des mines <ul style="list-style-type: none"> ○ Chapitre XXI : Régimes associatifs ○ Chapitre XXII : Aspects économiques et tributaires ○ Chapitre XXIII : Garanties minières ○ Chapitre XXIV : Aspects sociaux du travail des mines • Titre Septième : Aspects procéduraux <ul style="list-style-type: none"> ○ Chapitre XXV : Normes de procédure ○ Chapitre XXVI : Oppositions ○ Chapitre XXVII : Protection administrative ○ Chapitre XXVIII : Compétence ○ Chapitre XXIX : Registre minier national ○ Chapitre XXX : Système national d'information minière ○ Chapitre XXXI : Conseil assesseur de politique minière • Titre Huitième : Dispositions Finales <ul style="list-style-type: none"> ○ Chapitre XXXII : Dispositions spéciales de transition

Tableau 11. Structure générale Loi 685 de 2001: Code de Mines [36]

L'application de la loi n°685 de 2001 est liée à une série de textes complémentaires. Ceux-ci régissent essentiellement les responsabilités des différents corps de l'état, régleme le recouvrement, la distribution des privilèges et déterminent les conditions de sécurité et d'hygiène minière. Nous pouvons citer :

- Résolution n°02406 de 1979, sur la sécurité minière pour l'exploitation souterraine de charbon : « règlement de sécurité minier pour l'extraction souterraine de charbon » [37].
- Décret n°1335 de 1987, sécurité du travail des mines souterraines : « règlement de sécurité des travaux dans les mines souterraines » [38].
- Décret n°2222 de 1993, sécurité et hygiène industrielle dans les mines à ciel ouvert : « règlement de sécurité et hygiène industrielle dans les mines de ciel ouvert » [39].

Le comité de santé au travail pour le secteur minier (Ministère de la Protection Sociale, Ministère des Mines et de l'Énergie), travaille actuellement sur la réactualisation de la résolution n°02406 de 1979.

2.3.3.2. *Cadre législatif environnemental colombien*

En lien avec le secteur minier, la loi 99 de 1993 dans son titre VIII parle des licences environnementales. Cette loi a permis l'arrivée du décret 2150 de 1995, qui simplifie l'obtention des licences environnementales pour des projets de type miniers, la loi 685 de 2001 définit une licence environnementale globale, comme celle donnée par l'autorité environnementale compétente pour la construction, le montage, l'exportation, l'enrichissement et le transport en interne d'un ou de plusieurs minerais. Les autorités environnementales colombiennes fonctionnent sur deux niveaux logiques différents qui respectent les intérêts du pays et des régions. Le ministère de l'Environnement, de l'Habitat et du Développement Territorial fonctionne comme un organisme de contrôle national ; il délègue à des corporations autonomes régionales et dans les grands centres urbains, l'administration environnementale des différentes juridictions. Cette structure organisationnelle divise les compétences pour l'attribution des licences environnementales, basée sur la capacité de production (Tableau 12).

Licences privatives du bureau de l'environnement, habitat et développement territorial	Licences privatives des corporations régionales et grands centres urbains
<ul style="list-style-type: none"> a. Projet d'exploitation minière de charbon supérieur ou égal à 800.000 tonnes/an b. Projet d'exploitation minière pour matériaux de construction supérieur ou égal à 600.000 tonnes/an c. Projet d'exploitation minière pour métaux et pierres précieuses lorsque le matériau travaillé est supérieur ou égal à 2.000.000 tonnes/an d. Projet d'exploitation minière d'autres minerais supérieur ou égal à 1.000.000 tonnes/an 	<ul style="list-style-type: none"> a. Projet d'exploitation minière de charbon inférieur à 800.000 tonnes/an b. Projet d'exploitation minière des matériaux de construction inférieur à 600.000 tonnes/an c. Projet d'exploitation minière de métaux et pierres précieuses lorsque le matériau travaillé est inférieur à 2.000.000 tonnes/an d. Projet d'exploitation minière d'autres minerais inférieur à 1.000.000 tonnes/an

Tableau 12. Les autorités environnementales compétentes pour l'obtention de licences

La demande et obtention des licences environnementales se fait grâce au décret 1220 de 2005, auprès de l'autorité environnementale compétente qui demande les documents nécessaires pour sa démarche environnementale [40] .

La Loi 99 de 1993 a une série de textes complémentaires pour son application. Ceux-ci ont des caractères principalement généraux et portent les notions de participation communautaire, de patrimoine culturel, de flore et de faune des bois, de chasse, d'utilisation du sol,

de l'atmosphère, de ressources hydriques, de résidus solides, d'administration des risques et de prévention des désastres. Nous pouvons souligner pour les deux dernières notions :

- Loi 09 de 1979, « code sanitaire national »
- Décret 3989 de 1982, création des comités de secours nationaux
- Loi 46 de 1988, système national de prévention, d'intervention et de secours
- Décret 919 de 1989, direction nationale pour la prévention et l'intervention lors de désastres.
- Directive présidentielle 33 de 1989, responsabilité des organismes et entités décentralisées de l'ordre national du secteur public, dans le développement et l'organisation du système national pour la prévention et l'intervention lors de désastres.
- Loi 99 de 1989, réforme de la définition des zones à risques
- Décret 1319 de 1994, réglementation de l'attribution des licences de construction, d'urbanisation et d'émissions.
- Loi 388 de 1997, présentation des plans pour l'ordre territorial
- Décret 879 de 1998, réglementation des plans d'ordre territorial
- Décret 321 de 1999, création du plan national contre le déversement d'hydrocarbures, dérivés et autres substances nocives
- Décret 48 de 2001, planification environnementale régionale

2.3.3.3. Cadre législatif territorial colombien

Le cadre législatif territorial est défini par la loi 388 de 1997 qui a comme objectifs [41] :

1. *L'établissement des mécanismes qui permettent aux maires de promouvoir l'ordre sur son territoire, l'utilisation équitable et rationnelle du sol, la préservation et la défense du patrimoine écologique et culturel et la prévention des désastres dans des endroits dangereux, de même que l'exécution des actions urbanistiques nécessaires.*
2. *De garantir que l'utilisation du sol correspond bien aux autorisations qui lui sont liées. Il autorise le droit d'occupation et de services publics. Il doit également veiller à la création et à la défense d'espaces publics, de même qu'à la protection de l'environnement et à la prévention des désastres.*
3. *De promouvoir les échanges harmonieux entre la nation, les entités territoriales, les autorités administratives et de planification, dans l'accomplissement des obligations constitutionnelles et légales qui*

prescrivent à l'Etat le maintien de l'ordre sur le territoire pour permettre l'amélioration de la qualité de vie de ses habitants.

4. *De coordonner l'ensemble des initiatives municipales en cohérence avec la politique urbaine nationale, en harmonie avec les différentes entités chargées de l'affectation des ressources.*

Cette loi 388 de 1997 fut créée sur les principes de fonction sociale et écologique de la propriété, de prévalence de l'intérêt général sur le particulier et de distribution équitable des charges et des bénéfices.

Cette loi présente une coordination institutionnelle pour la planification physique, économique et juridique d'un territoire ou d'une région. Elle définit une stratégie de construction participative vis-à-vis de la concertation d'un plan unique pour le développement d'un territoire (Figure 18).

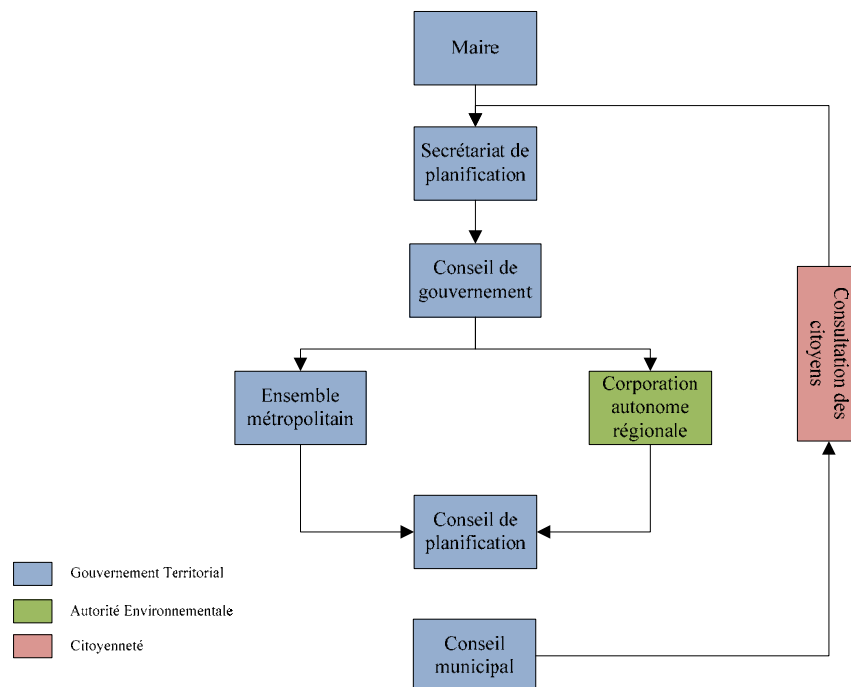


Figure 18. Démarches du plan d'ordre territorial (POT)

Ce plan se déroule entre le pouvoir territorial et les différentes institutions nationales et régionales. Il utilise des instruments de coordination institutionnelle avec l'autorité environnementale régionale ou nationale et incorpore des dimensions régionales dans le processus d'attribution des indispensables licences environnementales pour les concessions minières. Sa mise en œuvre fut partiellement réglementée par le décret 2181 de 2006.

En tant que responsable national, le ministère de l'environnement, de l'habitat et du développement territorial, en coopération avec le Fonds des Nations Unies pour la Population (FNUP), a publié deux guides méthodologiques pour les différents acteurs [42, 43]. Ces guides traitent des relations existantes entre la population et le territoire, mais ne développe

malheureusement pas des points tels que l'analyse des dangers ou la définition des risques industriels majeurs. Ils signalent tout de même l'importance de l'évaluation des risques naturels.

2.3.3.4. Démarche minière environnementale

Les démarches minières environnementales en vue de l'obtention d'un contrat de concession sont claires et explicites. Il s'agit de deux processus parallèles entre l'autorité environnementale et l'autorité minière, coordonnées par cette dernière comme entité de l'état ayant délégation pour la signature des contrats de concession (Figure 19).

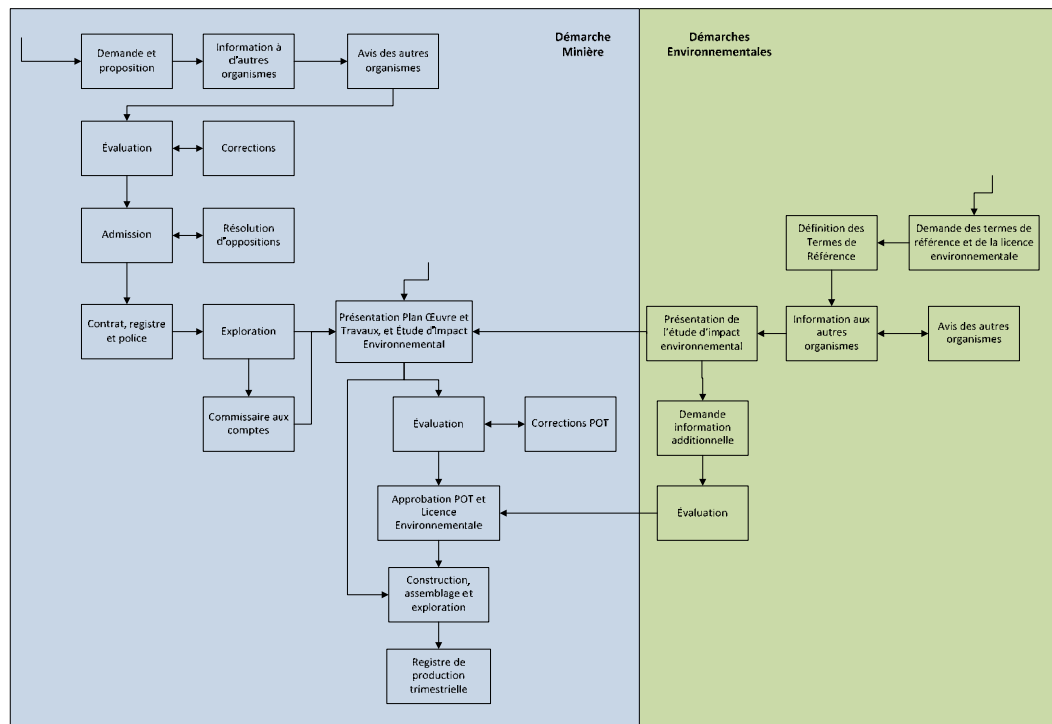


Figure 19. Démarche minière environnementale

La Loi 685 de 2001 dans son chapitre XX, article 199, demande au ministère des mines et de l'énergie et au ministère de l'environnement⁹, l'adoption concertée de "référénts normalisés, applicables dans l'élaboration, la présentation et l'approbation des études d'ordre environnementale pour le secteur du travail des mines ; de même que la création de guides techniques pour améliorer la gestion environnementale dans les projets miniers et les procédures pour suivre et évaluer les exercices fiscaux". C'est ainsi que furent publiés trois guides miniers durant l'année 2002, ces guides portes sur l'exploration, l'exploitation, l'enrichissement et la transformation des minerais (résolution 18-0861), et quelques années plus tard parurent de nouveaux guides traitant de l'exploitation du charbon et de l'industrie du ciment [35, 44-47].

⁹ Maintenant ministère de l'environnement, de l'habitat et du développement territorial

Les guides de la résolution 18-0861 de 2002 furent élaborés dans le cadre du programme de coopération CERI-COLOMBIA-CIDA¹⁰. Le guide traitant du travail des mines souterraines et du stockage de charbon fut rédigé dans le cadre du programme de coopération PNUD-MINERCOL¹¹ et le guide de l'industrie du ciment fut réalisé en coopération entre le ministère des mines et de l'énergie, le ministère de l'environnement de l'habitat et du développement territorial ainsi qu'avec l'institut colombien des producteurs de ciment.

Les cinq guides ont une structure commune, définie par une introduction, une évaluation des impacts, la gestion environnementale, et l'évaluation des dangers. Une analyse détaillée montre que toutes ces rubriques sont de bonnes qualités et doivent permettre de réaliser une évaluation des impacts environnementaux. Nous ne pouvons toutefois qu'être très critiques vis-à-vis des différents chapitres « analyse des risques » présents dans les différents guides. Ceci est d'autant plus étonnant si l'on considère que la Colombie classe l'activité minière comme à haut risque (catégorie 5 sur 5 possibles) et que le pays a ratifié la convention 174 de l'OIT ainsi que sa recommandation 181 [48-51].

D'après le décret 1281 de 1994 les entreprises minières doivent s'inscrire comme des entreprises à hauts risques auprès du ministère de la protection sociale. Ces entreprises à hauts risques doivent ensuite être supervisées par des administrateurs des risques professionnels (Circulaire 002 du 17 janvier 1996 du ministère du travail et de la sécurité sociale).

Néanmoins le code des mines ne demande pas à ce qu'un guide axé sur la santé et la sécurité des travailleurs soit élaboré de façon concertée entre les ministères des mines, de l'énergie et le ministère chargé de la protection sociale ; il ne fait pas le lien entre la sécurité industrielle, la santé au travail et les risques industriels majeurs. Ceci devrait être bientôt modifié avec la ratification de la convention OIT 176 sur la sécurité et la santé dans les mines [52]. Les actions liées à la santé et à la sécurité au travail sont actuellement traitées au travers d'un comité interinstitutionnel créé entre le ministère de la protection sociale et le ministère des mines et de l'énergie.

Pour ce qui est des risques industriels majeurs, le vide législatif est évident et "la schizophrénie" institutionnelle est claire. Le gouvernement national après la ratification de la convention OIT 174, a promulgué la loi 320 de 1996 et son décret 2053 de 1999 [53, 54]. Ces instruments se limitent à une simple transposition de la convention dans le droit local, et ne désignent aucun responsable institutionnel pour sa mise en œuvre.

¹⁰ Canadian Energy Research Institute (CERI) - Ministère des Mines et de l'énergie/ Ministère de l'environnement - Canadian International Development Agency (CIDA)

¹¹ Programme des Nations Unies pour le Développement- Empresa Nacional de Minería Ltda MINERCOL

Il est assez clair que l'organisation actuelle des institutions colombiennes ne réussit pas à assumer de telles problématiques multidisciplinaires comme dans le cas de l'analyse des dangers et des risques industriels. Nous risquons donc de nous retrouver face à des réglementations orphelines jusqu'à ce que le pays expérimente de nouveau les effets secondaires d'un vide institutionnel, comme cela a été le cas pendant le premier semestre de l'année 2007 [55-57].

2.3.4. Vision sur la santé et la sécurité industrielle

Lors du 15^{ème} congrès mondial sur la santé au travail de l'OIT, Jukka Takala a montré sa préoccupation vis-à-vis du panorama général de la santé et de la sécurité industrielle en disant : "l'hécatombe du travail qui représente 1,1 million de morts, dépasse la moyenne annuelle de décès liés aux accidents de route (999.000), aux guerres (563.000) et au Sida (312.000). Environ un quart de ces morts est produit par l'exposition à des substances dangereuses qui causent des maladies comme le cancer ainsi que des maladies cardiovasculaires, respiratoires et du système nerveux. Il est actuellement prévu que les maladies liées au travail causeront deux fois plus de victimes en 2020. Les estimations modérées montrent que les travailleurs ont actuellement environ 250 millions d'accidents de travail et 160 millions de maladies professionnelles par an. Les décès et les lésions graves sont très nombreux dans les pays en voie de développement, où il existe de grandes quantités de travailleurs dans des activités primaires et d'extraction, comme l'agriculture, l'exploitation des forêts, la pêche et le travail des mines qui sont les industries les plus dangereuses du monde" [23].

La Colombie est un de ces pays où il y a un grand nombre de travailleurs dans des activités primaires et c'est à cause de cela que le ministère de la protection sociale mène des efforts pour la protection du travailleur colombien. Malheureusement le pays ne dispose pas d'une base de données fiable sur les accidents miniers, les maladies professionnelles ou les accidents et événements arrivant en post-exploitation (effondrement minier par exemple). Dans le cas spécifique des risques professionnels, le ministère centralise, grâce à la résolution 1750 de 2005, l'information dans un système national unique. Les données ne sont par contre pas publiques et ne peuvent donc générer un retour d'expérience suffisant pour une analyse de risques *a posteriori* [58]. Nous avons demandé à plusieurs occasions à la Direction Nationale des Risques Professionnels, l'accès aux deux premières années d'information (2005-2006) pour avoir une idée de la problématique colombienne, mais il n'a pas été possible d'avoir une réponse positive de la part de cette direction.

Pour contourner cet obstacle et avoir une idée de l'impact de cette activité dans le territoire national, nous avons analysé des bases de données et des rapports réalisés par des organismes internationaux, en considérant que la problématique actuelle du territoire colombien correspond à celle vécue il y a quelques décennies par les pays

développés et qu'il ressemble aux autres pays de tradition minière de la région. Les instruments analysés sont :

- Mine Safety and Health Administration 1983-2004 : base de données d'accidents miniers, lésions, décès, emploi et production, du gouvernement des Etats-Unis administré par le U.S. Department of Labor. Cette base est une source d'informations colossales, où de manière systématique se documentent tous les accidents ou incidents miniers du territoire américain. Il est conçu comme un outil de retour d'expérience, qui sera traduit en réglementation technique, avertissements et recommandations [59].
- Program Mining Safety & Health : programme du Department of Health and Human Services, administré par le National Institute for Occupational Safety and Health des Etats-Unis. C'est un programme national pour la protection et le sauvetage des mineurs [60].
- Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie et Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer de la République Française : administration du risque minier post-exploitation [61].
- Programme sur la sécurité et la santé au travail et sur l'environnement : programme de l'Organisation International du Travail, pour la promotion du travail dans des conditions sûres [29].
- Ministère de l'Énergie et des Mines du Pérou : ce ministère centralise toute son activité minière, ces affaires environnementales minières et sa gestion sociale. Il est reconnu en Amérique latine comme un des pays ayant une forte tradition minière avec une problématique proche de la Colombie à cause de l'hétérogénéité des échelles d'exploitation et des droits ethniques sur les ressources [62].

En utilisant les instruments susmentionnés, nous avons construit une représentation générale de l'activité minière sur le territoire colombien en 2007, sa correspondance avec une évolution historique fut déterminée par le retour d'expérience issu des Etats-Unis.

2.3.4.1. Sécurité industrielle : la fatalité minière

D'après les données de l'Organisation International du Travail, l'extraction de minerais ne concerne qu'1% de la population active mondiale, mais totalise à elle seule 5% des accidents de travail mortels (15.000 par an, soit 40 par jour).

Différents rapports estiment que chaque année plus de 6.000 accidents ont lieu dans des mines chinoises. Dans la province de Hunan, où la Chine produit annuellement 25 millions de tonnes de charbon au travers de 5220 mines, qui donnent de l'emploi à 200.000 travailleurs, ont eu lieu officiellement 232 décès en 1997, dont 70% d'entre eux furent produits par des explosions de gaz ou de poussière de charbon. Le taux d'accidents mortels dans ce secteur (9,1 décès par million de tonnes de charbon) est 90 fois plus grand que la moyenne enregistré dans les pays industrialisés (0,1 décès par million de tonnes). Mais quelques régions peuvent avoir des taux encore plus importants, en 1998, par exemple, dans le Balochistan (province au sud-ouest du Pakistan), 64 mineurs ont perdu la vie dans des mines de charbon qui

produisent 1,6 million de tonnes, ce qui représente un taux d'accidents mortels de 40 travailleurs par million de tonnes [29].

Dans ces pays et dans bien d'autres, les catastrophes prennent de nombreuses vies parmi les mineurs. En Tanzanie, les inondations ont donné la mort à plus de 100 mineurs en 1997 et à 70 en 1998. En Bolivie, où 4.000 petits mineurs organisés en coopératives exploitent une mine fermée d'étain, il y a une moyenne de 3 accidents mortels et de 15 accidents graves chaque mois, ce qui veut dire que chaque année presque 1% de la force de travail perd la vie ! Une situation identique à également lieu au Zimbabwe, qui a une bien mauvaise réputation pour son nombre élevé d'accidents mortels, qui sont « causés principalement par les mineurs qui retournent illégalement dans les mines fermées pour y extraire de l'or des piliers et par des mineurs qui excavent les rives instables des rivières (OIT, 17 mai 1999, communication de presse) [29].

La Colombie n'échappe pas à cette réalité, 110 ouvriers sont morts en 1977 dans une mine de charbon dans la province d'Amagá (Antioquia) ; un glissement de terrain a tué 100 mineurs d'émeraudes en 1998 ; 49 mineurs sont morts en 2001 dans une exploitation d'or et 40 personnes sont décédées dans des mines de charbon lors de deux événements qui se sont déroulés durant les six premières semaines de l'année 2007.

Ces succession accidents ont eu paradoxalement un effet positif, essentiellement lié à l'impact des médias. Les autorités compétentes ne se taisent plus ; ils donnent maintenant des chiffres partiels de la situation actuelle. D'après le journal El Tiempo, le ministère des mines et de l'énergie, a enregistré 48 accidents durant l'année 2006 avec un total de 39 mineurs décédés [55]. Ces chiffres ne correspondent sûrement pas à la réalité, car une mission technique menée au sein du centre national minier en 2006 nous a permis d'estimer que les décès seraient supérieurs à 25 par an (17 décès par million de tonnes de charbon) rien que pour le département de Boyaca. Ce chiffre ne représente qu'une petite part de la réalité nationale mais il permet de donner une idée de son ampleur.

La différence des chiffres et des indicateurs est omniprésente au sein des autorités minières nationales, départementales, municipales, des organisations de producteurs et des syndicats, cela permet de mettre en évidence le réel abandon du travailleur minier par le gouvernement [29, 32, 55-57, 63-65].

2.3.4.2. Santé minière : le cas des pneumoconioses

Les pneumoconioses sont des maladies pulmonaires prévisibles mais non-curables. Elles sont dues à l'inhalation de particules solides, ayant un diamètre inférieur à 5 micromètres. Celles-ci rentrent dans le système respiratoire et produisent une inflammation et des cicatrices dans le tissu pulmonaire, en facilitant la prolifération des infections produits par des champignons et des bactéries. Elles sont souvent associées à d'autres maladies pulmonaire, comme la fibrose, l'emphysème, la tuberculose et le cancer.

Les effets sur le système respiratoire sont déterminés par le type de produit inhalé, cela nous donne, entre autres, les termes d'asbestose (fibrose interstitielle d'amiante), béryllose (réactions granulomateuses de béryllium), silicose chronique (fibrose nodulaire diffuse de silice), silicose aiguë (protéinase alvéolaire de silice), etc.

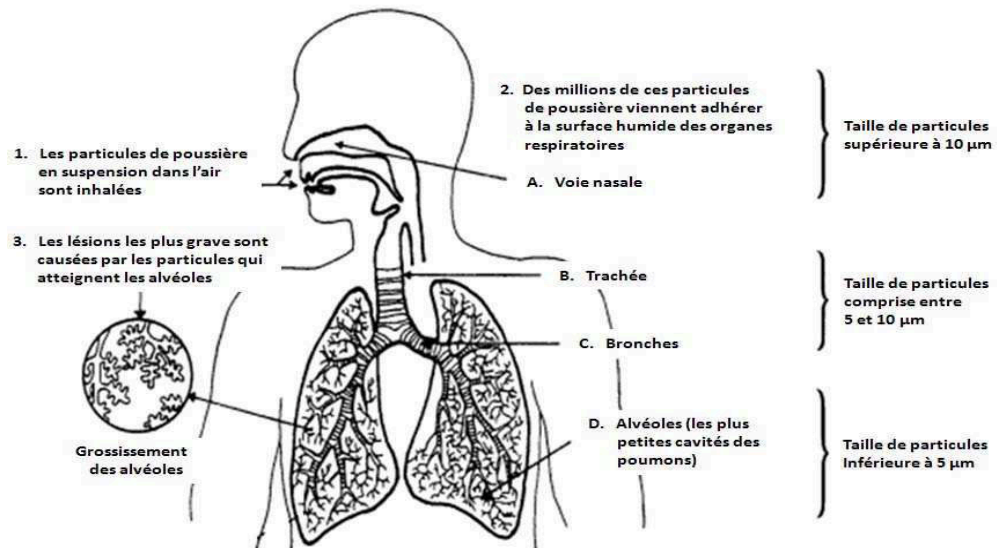


Figure 20. Les particules de poussière et l'appareil respiratoire humain [66]

Même si la problématique actuelle de la silicose est principalement liée à des travaux de constructions et aux travaux publics, ses origines et son diagnostic proviennent des travaux miniers [67]. Au début du XIX siècle les docteurs Pearson (1813), Gobert (1827) et Gregory (1831), découvrent l'apparition d'une étrange maladie propre aux mineurs de charbon, caractérisée par des vomissements noirs [67]. Après perception de cet effet secondaire, la communauté médicale européenne de l'époque énonça différentes hypothèses sur les causes de cette maladie mortelle ; mais l'association entre l'inhalation de poussières et le développement de pathologies pulmonaires resta quasiment inaperçu. Cet élément fut souvent considéré comme une aggravation d'une tuberculose, qui était une maladie généralisée dans toutes les mines européennes de l'époque [67]. C'est en 1867, qu'on établit pour la première fois le lien de causalité (l'exposition à des atmosphères poussiéreuses) pour le développement de ces pathologies du système respiratoire, avec l'introduction du mot pneumoconiose par le Dr Zenker.

Si le processus d'identification réalisé par la communauté médicale dura plus de 50 ans, la reconnaissance sociale du danger ne prit pas moins de temps. En effet c'est seulement à la fin des années 1920, que des pays comme le Royaume-Uni et l'Allemagne reconnaissent la silicose comme maladie professionnelle et ce n'est qu'en 1934 que l'Organisation Internationale du Travail l'inclut grâce à la convention 42 dans la liste des maladies professionnelles.

D'après les informations de l'OIT on peut estimer que, la Colombie expose 1.800.000 travailleurs à ce risque. 1.691.000 travailleurs sont exposés en Inde à de la poussière contenant de la silice ; 55% des travailleurs dans des carrières de type sédimentaire ont une silicose (dont la moitié sont des Hommes de moins de 25 ans). Des études en Amérique latine donnent la valeur de 37% comme valeur de présence de silicose parmi les mineurs ainsi qu'une valeur de 50% pour les mineurs âgés de moins de 50 ans [68].

Les perspectives sont tout de même encourageantes, malgré des statistiques très préoccupantes. Des pays comme la Suisse, la Suède, la Finlande et l'Australie ont d'excellents résultats sur le contrôle de la silicose lors des opérations minières et génèrent un retour d'expérience suffisant pour permettre une transposition dans d'autres contextes. La réussite est liée à trois axes de travail : le développement législatif, l'arrivée de mesures administratives et organisationnelles adéquates pour le développement des efforts dans le contrôle de la présence de poussières sur le lieu de travail, et l'augmentation des efforts pour l'amélioration de l'environnement de travail et la minimisation de l'exposition à la poussière. Le développement de ces trois axes doivent réduire le risque de silicose [68].

2.3.4.3. Risques post-opération : effondrement

La problématique minière ne se termine pas avec la fermeture de la mine et l'arrêt des procédés d'extraction. Le cycle de vie minier continue jusqu'à l'équilibre naturel de l'écosystème. C'est pendant ce processus que peuvent émerger des risques associés au type de sol et de sous-sol, avec d'importants impacts sur la population, l'environnement et les infrastructures.

Différentes études donnent une idée de l'énorme dimension du problème. On estime qu'il existe plus de 500.000 mines abandonnées aux Etats-Unis et presque 100.000 au Canada [69]. En France, rien que pour le Bassin Ferrifère Lorrain, les aires exploitées représentent une superficie de 1.700 km² et 40.000 km de galeries [70]. Comme pour d'autres problématiques précédemment citées, la Colombie ne dispose pas de statistiques sur ce sujet et les études de coopérations internationales ne se focalisent que sur la phase d'exploitation.

Le passage dans une nouvelle phase du cycle de vie minier, pose de nouveaux défis à l'administrateur territorial des mines. Celui-ci est un acteur récurant entre les phases d'exploration, d'exploitation, de la procédure de fermeture

et lors de la fermeture définitive d'une mine. Il est le seul acteur ayant une vision globale de ce cycle de vie, on peut dire qu'il représente la mémoire de l'activité minière. Le processus du développement territorial est une relation entre l'usage historique du territoire et sa compatibilité avec de futures activités. Le Tableau 5 présente, de façon résumée, les principaux impacts et dangers de la phase de post-exploitation.

Problématique	Événement non souhaitable	Relation source/cible
L'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Les perturbations hydrologiques liées à l'arrêt de travaux miniers <ul style="list-style-type: none"> ○ Accroissement du débit moyen des cours d'eau et des débits de crue ○ Diminution du débit de d'étiage • Inondation brutale 	<ul style="list-style-type: none"> • Captage industriel, captage pour irrigation, captage pour l'adduction d'eau potable, la population, les écosystèmes et l'infrastructure <ul style="list-style-type: none"> ○ Augmentation des débits ○ Détérioration de la qualité de l'eau ○ Assèchement des sources ○ Assèchement des cours d'eau ○ Vague
Les mouvements de terrains	<ul style="list-style-type: none"> • Tassement • Affaissement • Effondrement localisé • Effondrement généralisé • Glissement superficiels ou profonds • Liquéfaction • Chutes de pierres, écoulement 	<ul style="list-style-type: none"> • La population, l'écosystème et l'infrastructure <ul style="list-style-type: none"> ○ Mécanisme naturel ○ Mécanisme pour dissolution (les salines) ○ Mécanisme anthropique ○ Mécanisme par combustion ○ Soulèvement des terrains
L'émission en surface de gaz de mine ou d'atmosphère minière	<ul style="list-style-type: none"> • Emission de méthane • Emission de dioxyde de carbone • Emission de monoxyde de carbone • Emission de sulfure d'hydrogène • Emission de radon • Atmosphère déficiente en oxygène 	<ul style="list-style-type: none"> • La population, l'écosystème et l'infrastructure <ul style="list-style-type: none"> ○ Dégazification ○ Le pistonage (ex. nappe) ○ Variation de la pression atmosphérique ○ Tirage ○ Diffusion ○ Dissolution en l'eau minière
La pollution des eaux souterraines, sols et émission de rayonnements ionisants	<ul style="list-style-type: none"> • Lessivage des travaux minier • Lessivage de déchets • Lessivage d'émergence minière • Déversements • Infiltrations • Dispersion éolienne • Dispersion mécanique 	<ul style="list-style-type: none"> • La population, l'écosystème et les infrastructures <ul style="list-style-type: none"> ○ Pollution par contact roche-eau ○ Pollution par infiltration ○ Pollution par les émergences minières ○ Pollution par contact eau-sol ○ Pollution par dépôt de poussière ○ Pollution par remblai-eau ○ Pollution par contact résidu-eau ○ Pollution par contact résidu-sol ○ Pollution par déversement

Tableau 13. Problématique de post-exploitation : impacts et dangers.

La problématique des mouvements de terrains et de pollutions associées fut dans la quasi-totalité des pays postérieure aux accidents de Stava (Italie-1985), Meerispruit (Afrique du Sud-1994) et Baia Mare (Roumanie-2000). Ces accidents catastrophiques furent de véritables cris d'alertes poussés par la communauté internationale pour que les mines puissent être classées comme activité dangereuse pouvant générer des risques d'accidents majeurs. Les produits de ces initiatives sont la publication par l'ONU en 2001 du guide technique « *APELL for Mining* » et une modification réalisée en 2003 de la directive européenne SEVESO II [71].

Sinon, les effondrements localisés et généralisés liés à des activités d'extraction souterraine, n'ont pas été sujet à de grands appels

internationaux médiatisés et restent encore actuellement des risques silencieux. Ils sont liés à la problématique des exploitations abandonnées et/ou à l'utilisation de techniques inappropriées. Ce scénario va bien certainement se développer, voire se généraliser, en Colombie mettant en danger des groupes urbains complets, comme c'est le cas de Marmato (département de Caldas) avec une population de 5000 habitants.

2.3.4.4. La relation entre le taux de décès et le contrôle national

Grâce au retour d'expérience issus des pays industrialisés, il est possible de déterminer une relation étroite entre le taux de décès et la législation nationale. Pour le mettre en évidence, nous proposons une rapide analyse de l'évolution historique du travail des mines de charbon aux Etats-Unis, en utilisant les informations données par CDC, NIOSH, DSHEFS, Statistical Support MEO¹².

Entre 1911 et 1930, l'activité minière américaine se caractérise par l'usage intensif de main d'œuvre peu mécanisée. L'introduction de systèmes mécanisés pour substituer la main d'œuvre n'était pas bien vue par les syndicats de travailleurs, causant un retard considérable à l'utilisation à grande échelle de ce type de technologies. Indépendamment des techniques d'exploitation à utiliser, la pression du marché américain répondait à la demande économique en expansion. En 1918 la production de charbon a atteint le chiffre de 680 millions de tonnes, mais tout changea quelques années plus tard avec la grande dépression des années 30, générant une demande nationale de 360 millions de tonnes en 1932. Il est intéressant d'analyser comment une chute de 47% dans la production, diminua le nombre de décès de moitié, mais le taux de décès moyen augmenta de 14% (Figure 21). Il est évident que le nombre d'employés du secteur diminua de manière drastique, et que l'exploitation mécanisée fut utilisée à pleine capacité générant une redistribution du risque individuel.

La période 1931-1945 montre un phénomène intéressant : les demandes augmentent et le marché se dynamise grâce à la reprise de l'économie américaine et à la seconde guerre mondiale. Les niveaux de production pour 1949 sont identiques à ceux de 1918 [72]. Le nombre de décès augmente légèrement mais le taux de décès diminue considérablement (Figure 21) ; nous voyons donc que la pression du marché se redistribue directement sur le mineur. Cela peut être comparé au début du XXI^{ème} siècle dans des pays en voie de développement comme la Chine ou dans des pays émergents comme la Colombie, où la pression du marché a un impact direct sur le taux de décès dans les mines.

¹² Centers for Disease Control and Prevention (CDC), National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) et Division of Surveillance Hazard Evaluations and Field Studies (DSHEFS)

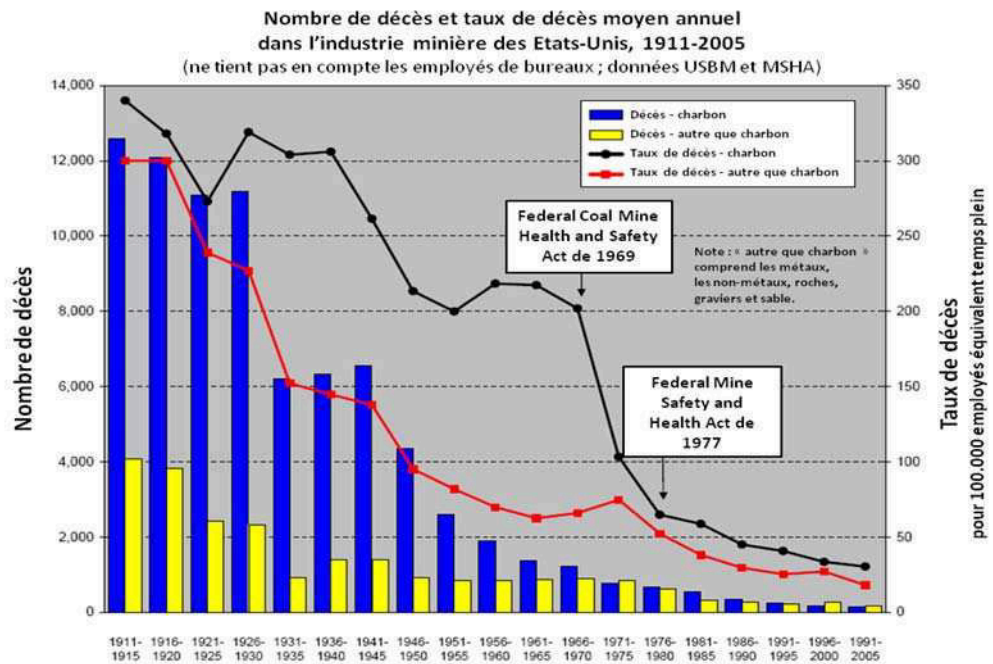


Figure 21. Nombre des décès et taux de décès moyen annuel dans l'industrie minière américaine (1911-2005)

La fin de la seconde guerre mondiale est liée à une dépression du marché ainsi qu'à de nouvelles techniques d'exploitation. En 1968 le peuple américain est tragiquement touché par l'accident de Farmington (West Virginia) où 78 mineurs décédèrent suite à une explosion. La réglementation américaine fut modifiée en 1969 par le « Federal Coal Mine Health and Safety Act » afin de réorganiser le système d'extraction du charbon et pour tenter de dynamiser un changement de la culture d'entreprise. Cette barrière réglementaire fut très efficace vu qu'elle réduisit le nombre de décès d'approximativement 85% durant la période 1970-2005 (Figure 21).

Quatre ans plus tard (en 1972) la tragédie de Sunshine (Idaho), où 91 mineurs trouvèrent la mort lors d'un incendie, met clairement en évidence le fait que le risque ne se limite pas aux seules mines de charbon. Le gouvernement fédéral américain consolida alors les législations du charbon, des métaux et non métaux, grâce au Federal Mine Safety and Health Act de 1977.

Il est clair alors que la tension générée par les instruments législatifs est une force motrice stratégique pour la réduction du nombre de décès dans les mines et le renforcement institutionnel dans la tactique gouvernementale pour l'application de la loi.

Chapitre 3 : la démarche méthodologique

Introduction

Ce chapitre et ses annexes, présentent la démarche appliquée pour l'analyse des instruments réglementaires relatifs à l'administration des risques miniers sur le territoire colombien. Cette analyse est réalisée grâce à l'application de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR sur le secteur des opérations d'extractions minières souterraines tout en privilégiant les processus de concertation et le travail coordonné en groupes multidisciplinaires.

Notre objectif est d'évaluer les instruments réglementaires de l'administration des risques associés aux activités industrielles sur le territoire colombien afin d'identifier les opportunités d'améliorations pour la protection de la population, de l'environnement et des infrastructures.

Cette étude doit également nous permettre de réaliser l'évaluation de la pertinence de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR pour l'analyse de systèmes complexes, à une échelle supérieure de celle des procédés industriels. Nous tenterons également de voir s'il est possible de proposer des améliorations à cet ensemble méthodologique.

Comme l'a écrit Ulrich Beck dans son livre *La Société du Risque* [73], « la discussion sur les risques se situe entre la perte de confiance de la société et la réalisation d'une catastrophe. Le concept de risque se caractérise par un état intermédiaire entre « sécurité » et « destruction » durant lequel sa perception détermine les pensées et les actions ». C'est cette perception de risque menaçant qui peut être identifiée comme force motrice et qui détermine la construction réglementaire d'un pays.

L'étude d'une réglementation nationale comme celle de la Colombie, devient comparable à une radiographie culturelle qui détermine le cadre de référence pour le chef d'entreprise, en fixant les objectifs minimum de prévention, de protection et de mitigation, reliés aux flux de dangers générés par son activité. Cela exprime également l'acceptabilité et la tolérance du risque qui sont définies par les autorités nationales.

Pour effectuer une analyse de ces instruments nationaux, nous sélectionnerons des scénarios d'accidents possibles et nous y superposerons les instruments réglementaires existants pour tenter d'évaluer leurs pertinences vis-à-vis de la protection des cibles identifiées.

3.1. Configuration de la boîte à outils

Un des objectifs mentionnés ci-dessus, est de tenter d'évaluer la pertinence de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR pour l'analyse de méga-systèmes. Cette volonté demande une application séquentielle et exhaustive de la totalité des activités et sous-activités proposées par le Module A.

Nous allons recourir aux bases fondamentales de la systémodigraphie pour évaluer la pertinence homomorphique et polymorphique des produits résultant de l'utilisation de l'application de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR.

3.2. De la systémique au modèle

Deux questions se posent lors de la réalisation d'une étude de ce type :

1. Comment une analyse vue sous un angle génie des procédés peut-elle être transposée à un niveau logique législatif ?
2. Comment faire une approximation pertinente du point de vue de type « génie des procédés » pour réaliser une analyse de risques dans un méga-système (à l'échelle d'un pays) ?

Pour répondre à ces questions, il faut dans un premier temps se demander si un secteur de production d'un pays comme la Colombie peut être considéré comme un système. Ce doute peut être dissipé grâce à l'utilisation de la SLM. Tous les secteurs productifs nationaux sont suffisamment complexes et ils possèdent les caractéristiques pour être définis comme des systèmes. Ils peuvent donc être l'objet de modélisations et les outils proposés par la SLM (inclus dans l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR) peuvent être utilisés pour son analyse.

Nous définissons alors le secteur productif colombien comme un méga-système à analyser, mais nous avons dû réduire ses limites car la variété générée par ce méga-système était bien supérieure à notre capacité d'analyse. Nous appellerons ce processus une réduction de variétés et la façon de définir les sous-systèmes susceptibles d'être analysés un processus de déroulement de complexité. Le résultat de ce déroulement nous permet d'identifier de multiples niveaux logiques qui sont décrits par les interrelations entre les différents éléments constitutifs.

Nous avons pris en compte de multiples alternatives : utilitaires, topographiques, environnementales, sectorielles et socioéconomiques, pour réaliser le premier déroulement de complexité du méga-système. Nous avons fait une analyse où l'on considère la disponibilité de l'information, la reconnaissance internationale et la cohérence avec la vision du génie des procédés. Comme résultat, nous avons sélectionné la classification ISIC Rev. 3 (Classification standard internationale des activités industrielles pour toutes les activités économiques, Révision 3) [74], comme premier niveau logique de déroulement de la complexité.

La codification ISIC Rev. 3 propose une classification architecturée en 17 catégories, 60 divisions, 159 groupes et 292 classes. Pour notre analyse nous n'avons pris en compte que les 17 catégories proposées (Tableau 14), qui définissent de façon simple les secteurs économiques primaires, secondaires et tertiaires. Toutes les activités industrielles et ses opérations dérivées sont donc incluses dans ce premier niveau logique (première correspondance homomorphique/polymorphique).

Une fois que l'on a défini les premiers éléments produits par le déroulement de complexité, il faut sélectionner un groupe d'activités qui peuvent être objet de notre étude. Cette sélection peut être réalisée avec un point de vue sûreté de fonctionnement ; cette sélection dépendra entre autre de multiples facteurs comme : le retour d'expérience disponible, l'information disponible, la possible description à partir d'une problématique du génie des procédés. Nous avons ainsi déterminé comme activités économiques abordables et analysables :

1. Les activités extractives
2. Les transports, l'entreposage et les communications
3. Les activités de fabrication

Activités économiques de la Colombie ISIC Rev. 3, premier niveau de classement. Premier déroulement de complexité (niveau 1)	<i>Agriculture, chasse et sylviculture</i>
	Pêche
	Activités extractives
	Activités de fabrication
	Production et distribution d'électricité, de gaz et d'eau
	Construction
	Commerce de gros et de détail ; réparation de véhicules automobiles, de motocycles et de biens personnels et domestiques
	Hôtels et restaurants
	Transports, entreposage et communications
	Intermédiaires financiers
	Immobilier, locations et activités de services aux entreprises
	Administration publique et défense ; sécurité sociale obligatoire
	Education
	Santé et action sociale
	Autres activités de services collectifs, sociaux et personnels
	Foyers employant du personnel domestique
	Organisations et organismes extraterritoriaux

Tableau 14. Activités économiques : premier déroulement de complexité

On observe assez fréquemment que les instruments législatifs généraux sont issus d'une législation sectorielle ; des principes et règles liés à un secteur peuvent ainsi devenir des outils de gestions de problématiques transversales. C'est le cas des normes de protection de l'environnement, des réglementations de protection de la santé au travail et de sécurité industrielle. Nous pouvons citer comme exemples l'Alcali Act [75] et son évolution vers l'Environmental Protection Act (1857-1990, Grande Bretagne), ainsi que les développements de la réglementation européenne liées aux atmosphères explosibles (ATEX) [76].

Cet argument nous permet de sélectionner une des activités mentionnées comme objet principal d'étude et de proposer des éléments potentiellement généralisables, d'un cas particulier vers une problématique générale. Nous avons donc défini les activités extractives comme point de départ, nous y appliqueront de manière récurrente les principes de la SLM et le déroulement de complexité jusqu'à l'identification de systèmes susceptibles d'être analysés à l'aide de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR.

Il est nécessaire de réaliser une autre réduction de variété sur le déroulement des activités extractives, et nous avons pour cela sélectionné les opérations souterraines comme axe principal de ce travail. Nous avons pris en compte les dangers représentés liés aux activités, de même que leurs usages extensifs sur le territoire colombien. Le Tableau 15 et la Figure 22 présentent les déroulements de complexité obtenus sur les activités extractives souterraines.

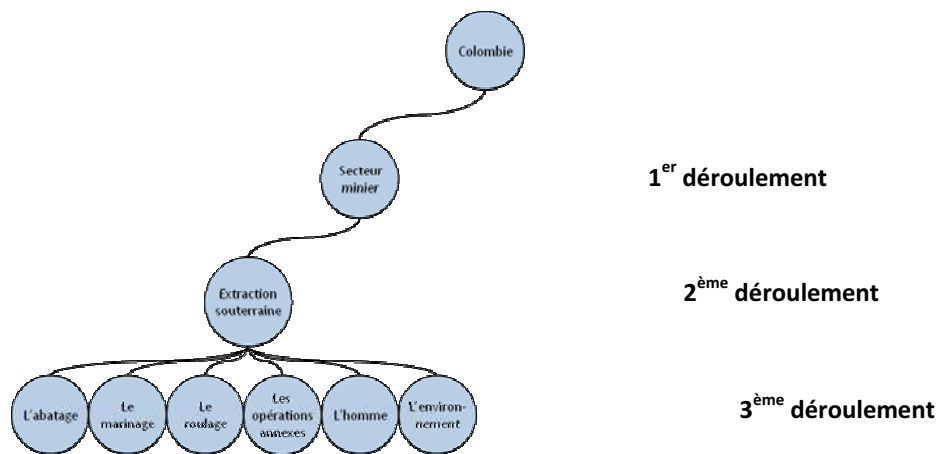


Figure 22. Déroulement de complexité de base

1 ^{er} déroulement	2 ^{ème} déroulement	3 ^{ème} déroulement	4 ^{ème} déroulement
...
Les activités extractives	Extraction souterraine	L'abatage	A l'explosif A la machine Manuel
		Le marinage	Les convoyeurs blindés Les chargeurs transporteur Manuel
		Le roulage	Les wagons Les convoyeurs Les camions Les puits Manuel
		Les opérations annexes	L'aérage L'exhaure L'éclairage Le soutènement de la galerie Détection et alarme
		L'Homme	L'Homme
		L'environnement	L'environnement artificiel L'environnement naturel
	Extraction ciel ouvert
Extraction alluviale	
Extraction pour dissolution	
Enrichissement des matériaux	

Tableau 15. Déroulement de complexité pour les activités extractives

Le choix des activités souterraines, présente les avantages suivants :

- Ses opérations de base, définies par le troisième niveau de déroulement de complexité, incluent la totalité des opérations à ciel ouvert.
- Ses dangers associés incorporent la grande majorité de ceux définis par l'ensemble des activités extractives.
- Le retour d'expérience de l'activité est suffisant pour l'application de la démarche méthodologique.
- Elles représentent l'une des activités ayant un impact majeur pour le territoire colombien.

Définir les opérations extractives souterraines comme axe principal et central de cette analyse, n'a pas été un processus facile. Il a été nécessaire de réaliser un déroulement de complexité de toutes les activités extractives, en suivant les processus interactifs et exhaustifs proposés par la SLM. Ces correspondances polymorphiques sont indispensables à la robustesse des modèles proposés, il fut donc nécessaire d'en vérifier la pertinence. Nous avons réalisé cette vérification pour les trois activités économiques susmentionnées : activités d'extraction, les transports, et les activités de fabrication.

Une fois identifiés les niveaux logiques susceptibles d'être analysés, il est nécessaire de constituer un (ou des) groupes de travail capable d'absorber la variété générée par ceux-ci. Nous avons donc mis au point deux groupes de travail :

1. **Le groupe de base** : Sa finalité est de proposer une application de la méthodologie MADS/MOSAR sur le secteur d'activité sélectionné. Jean-Pierre Josien participa à ce groupe de travail en sa qualité d'expert minier travaillant au sein de GEODERIS¹³.
2. **Le groupe de correspondance homomorphique avec la Colombie** : ce groupe d'appui a pour fonction la validation¹⁴ du travail proposé par le groupe de base. Le gouvernement colombien n'a pas pu participer directement de ce travail, il facilita néanmoins les réunions et participations de deux professionnels : Madame Amalia Hoyos du Ministère de la Protection Sociale colombienne (spécialiste en protection sur le lieu de travail) et Monsieur Hernán José Sierra du Ministère des Mines et de l'Énergie (spécialiste dans les processus d'extraction miniers, membre de la direction des mines).

Il faut de même noter que les résultats issus de cette étude ne représentent pas une opinion officielle du gouvernement colombien et sont exclusivement le produit de l'interprétation des auteurs de ce document.

Ayant défini la problématique et la conformation des groupes de travail, il faut maintenant appliquer de manière exhaustive le Module A de l'ensemble méthodologique.

3.3. Suivi de la démarche méthodologique

Nous présentons maintenant une description du processus suivi pour chacune des activités du Module A ainsi que nos propositions d'évolution. Les activités 1A, 4A et 5A seront présentées individuellement, tandis que les modules 2A et 3A seront couplés afin de faciliter la lecture et la compréhension de la démarche utilisée pour la construction des scénarios.

3.3.1. Activité 1A. « Représentation de l'installation »

La représentation des installations constitue un processus systémographique. Cela nous fournit une description claire du système objet de notre étude, cela inclut :

¹³ Pôle d'appui technique pour le risque minier de la DRIRE Lorraine (GEODERIS)

¹⁴ Les processus de validation font référence à des preuves homomorphiques-polymorphiques

- L'identification, la description et la définition des sous-systèmes en suivant les critères définis par la SLM (structure, finalité, fonction, environnement et évolution), validés par le groupe de base (cf. Tableau 15 et Tableau 16).
- Tentative d'application de la liste quasi-exhaustive des sources de dangers sur les sous-systèmes (Grille 1 et Tableau A).
- Raisonnement rhétorique communicable pour les niveaux trois et quatre du déroulement de la complexité (définitions). Ces niveaux mettent en évidence les processus de transformation.

3 ^{ème} déroulement	4 ^{ème} déroulement
L'abatage : Phase de détachement (en le disloquant) du gisement, le charbon, le minerai ou la pierre. L'abatage est l'acte essentiel de l'exploitation des mines.	A l'explosif : Technique d'abatage pyrotechnique
	A la machine : L'ensemble de techniques mécaniques, cela inclut la foration pour l'abatage à l'explosif (ex. longwall)
	Manuel : Toutes les techniques d'abatage où la force motrice est l'homme (ex. pic)
Le marinage : Phase du percement d'un tunnel ou d'une galerie souterraine pendant laquelle on évacue les déblais résultant de l'abatage	Les convoyeurs blindés : Convoyeur métallique utilisé en taille pour évacuer le minerai abattu
	Les chargeurs transporteur : Engin d'abord tracté sur rails ou automoteur, conçu pour charger de produit d'abatage
	Manuel : Toutes les techniques de marinage où la force motrice est l'homme (ex. pelle)
Le roulage : Phase de transport du minerai, du stérile ou du remblai par tous types de transport entre la sortie du chantier et l'ouvrage de marinage	Les wagons : Voiture sur rails employée pour le transport des hommes ou des matériaux (ex. berlines)
	Les convoyeurs : Convoyeur continu composé d'une ossature métallique et d'une bande sans fin entraînée par des tambours et supportée par des rouleaux qui la déforment en auge.
	Les camions : Véhicules transporteurs ou chargeurs pour les hommes et matériaux (ex. joy)
	Les puits : Creusement vertical pour le skip pour la remontée de minerai.
	Manuel : Toutes les techniques de roulage où la force motrice est l'homme
	Les opérations annexes : Terme générique regroupant l'ensemble des opérations connexes à l'activité extractive
L'homme : Tout être humain présent sur un chantier minier	L'aéragé : Ensemble de tous les processus et dispositifs qui ont pour objet d'apporter dans les cavités minières l'air frais nécessaire et de diluer et d'emporter à l'extérieur l'air vicié, toxique, ou les mélanges grisouteux, ainsi que d'améliorer le climat de la mine.
	L'exhaure : Action d'extraire et d'évacuer l'eau parvenant dans des excavations souterraines telles que des mines, des carrières, pour les maintenir hors d'eau.
	L'éclairage : Ensemble de tous les dispositifs qui ont pour objet d'apporter dans les cavités minières la lumière nécessaire pour le travail minier.
	Le soutènement de la galerie : Dispositif de soutien des parois, soit par appui (cadres en bois, cintres métalliques, piles, etc.), soit par suspension (broches, boulons, etc.), soit par tout autre moyen. Terme générique désignant tous les moyens mis en œuvre pour maintenir ouvertes et sûres les excavations minières.
	Détection et alarme : Ensemble de tous dispositifs qui ont pour objet, dans les cavités minières, la détection et alarme de l'air vicié, toxique, ou les mélanges grisouteux.
L'environnement : Ensemble dynamique et évolutif, constitué d'éléments physiques, chimiques, biologiques et de facteurs sociaux, dans lequel se développe tout « sous-système » et qui est susceptible d'avoir une influence directe sur celui-ci	L'homme : Les opérateurs directs ou indirects, aussi que tout homme sur le chantier.
	L'Environnement artificiel : Ensemble dynamique et évolutif, constitué d'éléments physiques, chimiques et de facteurs sociaux, dans lequel se développe tout « sous-système » et qui est susceptible d'avoir une influence directe sur celui-ci.
	L'Environnement naturel : Ensemble dynamique et évolutif, constitué d'éléments physiques, chimiques et biologiques, dans lequel se développe tout « sous-système » et qui est susceptible d'avoir une influence directe sur celui-ci.

Tableau 16. Définitions des troisième et quatrième niveaux de déroulement des extractions souterraines

Les systèmes du troisième niveau de déroulement sont quasi omniprésents dans toutes les activités minières. Par contre, la présence des sous-systèmes du quatrième niveau de déroulement dépendra entre autres choses de la

culture minière territoriale, des échelles de production, des conditions socioéconomiques, des classes de matériaux à exploiter, et des classes de gisements. C'est ce réseau complexe de relations qui génère une explosion d'hétérogénéité de techniques et d'échelles de production sur un territoire comme celui de la Colombie.

La complexité générée par le dernier niveau logique nécessite une stratégie « bottom-up » comme celle proposée par MOSAR dans son activité 2A et l'application d'un modèle simple comme MADS, pour identifier les mécanismes de danger puis affecter les phénomènes non-souhaités dans des niveaux logiques supérieurs.

3.3.2. Activité 2A et 3A. « Identification de dangers et des scénarios d'accident – évaluation des risques »

Les activités 2A et 3A se focalisent sur l'identification de flux de dangers et sur leur propagation dans des scénarios d'accidents. Le processus a été complètement mené à bien par le groupe de base en utilisant l'analyse a posteriori comme instrument de vérification complémentaire [29, 59, 62].

3.3.2.1. Identification de systèmes de sources de danger

L'identification de dangers présents dans les "sous-systèmes", est réalisée à l'aide de l'inventaire systématique de la grille 1. Les dangers intrinsèques sont mis en évidence avec cet exercice, ils définiront plus tard les différents flux MEI dans une relation source/cible.

Dans ce travail l'identification des dangers n'a pas été limitée à la simple phase d'exploitation, mais a été construite de façon intégrale en considérant le cycle de vie minier qui permet de mettre en évidence d'éventuelles propagation des risques entre différentes phases de vie. Un extrait de la Grille 1 est présenté dans la Figure 23 et les instruments complets peuvent être consultés en annexe (A.1).

GRILLE 1 : SYSTEMES SOURCES DE FLUX DE DANGERS (dans la fabrication, le stockage, le transport) de matière, énergie, information	
A- SYSTEMES SOURCES DE DANGERS D'ORIGINE MECANIQUE	
A-1 APPAREILS SOUS PRESSION	
Gaz	
Vapeur Mixte	
Hydraulique	
A-2 ELEMENTS SOUS CONTRAINTES MECANIQUES	
A-3 ELEMENTS EN MOUVEMENT	
Solides	
Liquides	
Gaz	
A-4 ELEMENTS NECESSITANT UNE MANUTENTION	
A-5 SYSTEMES SOURCES D'EXPLOSIONS D'ORIGINE PHYSIQUE AUTRES QUE A-1	
A-6 SYSTEMES SOURCES DE CHUTES DE HAUTEUR	
A-7 SYSTEMES SOURCES DE CHUTE DE PLAIN PIED	
A-8 AUTRES SYSTEMES SOURCES DE BLESSURES	
A-9 SYSTEMES SOURCES DE BRUIT ET DE VIBRATIONS	
B- SYSTEMES SOURCES DE DANGERS D'ORIGINE CHIMIQUE	
B-1 SYSTEMES SOURCES DE REACTIONS CHIMIQUES	
B-2 SYSTEMES SOURCES D'EXPLOSIONS	
En milieu condensé	
En phase gazeuse	
B-3 SYSTEMES SOURCES DE TOXICITE ET D'AGRESSIVITE	
B-4 SYSTEMES SOURCES DE POLLUTION DE L'ATMOSPHERE ET DES ODEURS	
B-5 SYSTEMES SOURCES DE MANQUE D'O ₂	
C- SYSTEMES SOURCES DE DANGERS D'ORIGINE ELECTRIQUE	
C-1 ELECTRICITE A COURANT CONTINU OU ALTERNATIF	
C-2 ELECTRICITE STATIQUE	
C-3 CONDENSATEURS DE PUISSANCE	
C-4 HAUTES FREQUENCES	
D- SYSTEMES SOURCES DE DANGERS D'INCENDIE	
E- SYSTEMES SOURCES DE DANGERS DE RAYONNEMENTS	
E-1 IONISANTS	

Figure 23. Extrait de la Grille 1 (systèmes sources de flux de dangers)

L'utilisation d'une liste comme celle proposée dans la Grille 1, focalise la discussion du groupe sur les risques intrinsèques pour chacun des « sous-systèmes » et facilite l'élaboration des contrats sociaux¹⁵ développés grâce au Tableau A.

3.3.2.2. Identification des événements non souhaités

L'identification des événements non souhaitables se fait grâce au Tableau A qui est l'outil proposé par MOSAR. Ses objectifs principaux sont l'identification des flux MEI¹⁶ générés par des dangers intrinsèques par « sous-système » de même que les événements initiaux et initiateurs. Cette identification des événements non-souhaités doit être réalisée sans prise en compte des éventuelles barrières existantes. Un exemple de ce tableau est présenté dans la Figure 24. L'ensemble des tableaux peut être consulté dans l'annexe (A.2).

TABLEAU A Etablissement de processus de danger SOUS-SYSTEME SOURCE SS1 : Exploitation souterraine - Abatage		Evénement initial : événement qui caractérise le changement d'un système qui passe d'un état ou situation normale vers un état ou situation défaillante. Evénement initiateur : événement perturbateur qui est à l'origine du changement d'état ou de situation d'un système. Evénement principal : événement qui manifeste le flux de matière, d'énergie et d'information sens par un système en état ou situation défaillante.						
N°	SOURCES DE DANGERS (Grille 1)	Phase de vie			Evénement initiateur		Evénement initial	Evénement principal (flux de danger)
		Exploitation	Maintenance	Après exploitation	Interne	Externe		
A Mécaniques								
1	Par outils individuels (pique-pioche et marteau-piqueur)	x			<ul style="list-style-type: none"> • Problème sur les utilités (air, etc.) • Problème de maintenance des outils 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise opération des outils • Dysfonctionnement des outils • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Projection des outils • Projection de matériau (poussière et roches) • Bruit + vibration
2	Le havage (les haveuses "shortwall" - "longwall", le halage)	x			<ul style="list-style-type: none"> • Problème sur les utilités (air, etc.) • Problème de maintenance des outils 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise opération des outils • Dysfonctionnement des outils • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Fragmentation de la machine • Projection de matériau (poussière et roches) • Bruit + vibration
3	L'évacuateur de havrit (intégré - non intégré)	x			<ul style="list-style-type: none"> • Problème sur les utilités (air, etc.) • Problème de maintenance des outils 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise opération des outils • Dysfonctionnement de l'évacuateur • Dysfonctionnement de l'évacuateur • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Fragmentation de la machine • Projection de matériau (poussière et roches) • Bruit + vibration
4	Les mouvements (sur rails, chenilles ou pneus)	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais état des supports (rails) • Problème de maintenance des 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais état de la galerie • Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Dysfonctionnement des outils • Sortie de support de 	<ul style="list-style-type: none"> • Projection des mouvements (poussière, roches) • Fragmentation du système

Figure 24. Exemple de tableau A

La proposition originale de MOSAR propose que ce processus de réflexion se fasse pour chacune des phases de vie du système étudié. Le groupe de base a considéré comme nécessaire de réaliser une réduction de variété en ne sélectionnant que les phases de vie les plus pertinentes pour la Colombie c'est-à-dire l'exploitation et la post-exploitation minière. Ce choix est lié à l'accidentologie de la phase d'exploitation et à l'actuelle prise en compte de la gestion des risques post-exploitation dans les pays développés. Cette décision a été confortée par le retour d'expérience de GEODERIS, et par l'analyse des bases de données liées à l'accidentologie minière [59].

¹⁵ Contrat social au sens de la proposition du constructivisme projectif (car le savoir est valide)

¹⁶ Les flux MEI portent le nom des flux principaux de danger dans le modèle MADS.

Il faut noter que quelques utilisateurs de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR incorporent dans ce tableau A des éléments autres que ceux liés à l'identification des flux principaux de danger, en ajoutant dans l'analyse un processus de réflexion qui cherche à identifier les effets non souhaités sur une cible (intoxication par exemple). De notre part, nous avons préféré l'utilisation du Tableau A dans sa forme originale, considérant que l'incorporation de ce type de réflexions dans une étape initiale du processus favorise la définition des événements non souhaités en se basant sur un processus bien souvent subjectif d'autoréférence historique de l'analyste.

La conduite de la méthodologie MOSAR doit être réalisée suivant un principe d'autonomie, cela signifie que l'on doit continuellement chercher des preuves isomorphiques entre la Grille 1 et le Tableau A lors de son élaboration. Cette correspondance a été réalisée par le groupe de base. Ce lourd processus est absolument nécessaire, car il ne faut pas oublier que les analyses de risques sont des processus facilement auto-référençables.

3.3.2.3. Identification des accidents plausibles et évaluation de risques.

L'identification des accidents plausibles est le résultat de l'intégration d'événements initiateurs, d'événements initiaux et des flux de danger principaux intervenant pendant un processus de danger. Les événements non souhaités ainsi que les événements minium suffisants pour les atteindre peuvent être identifiés. Pour réaliser cette intégration, la méthodologie MOSAR propose originellement l'utilisation de boîtes noires, mais leurs mises en œuvre sont inappropriées dans notre cas à cause du grand nombre de flux (inputs/outputs) mis en jeu qui rendraient quasi-illisible la lecture des processus.

Pour aller au-delà de cette difficulté, nous proposons la construction d'arbres logiques issus du Tableau A, en reprenant les éléments de mécanismes de danger qui y sont présentés. Ces constructions constituent une nouvelle réduction de variétés qui feront émergés les événements critiques à étudier. Basés sur ces séquences partielles il est possible de construire des arbres logiques, que nous pouvons alors assimiler à une représentation typologique initiale mettant en évidence les différents événements plausibles (ex. transformation chimique, transformation physique), Un exemple d'arbre lié à une explosion est donné dans la Figure 25. L'élaboration des arbres logiques se fait grâce à un processus déductif qui va de l'événement critique vers ses causes, dans le sens inverse de la séquence de l'accident (Activité 2A + Activité 3A).

Pour définir ces événements critiques, le groupe de base a pris en compte les critères suivants de décision, basés sur le retour d'expérience disponible :

- La sélection est représentative d'au moins deux phases de vie d'un projet minier (exploitation et post-exploitation).
- Il faut se focaliser sur les critères législatifs pertinents (santé du mineur, sécurité minière et risques post-exploitation).
- Identifier deux ou trois événements critiques représentatifs et analysable vis-à-vis des ressources disponibles (temps, informations, capacité d'absorption de variété des groupes, etc.).

Suite à ce processus de décision, le groupe de base sélectionna les événements critiques portant sur les pneumoconioses (santé du mineur), sur l'explosion dans une mine (sécurité minière) et sur l'effondrement dans une mine (risques post-exploitation).

Deux démarches parallèles se sont alors établies : la réalisation du Tableau A (démarche inductive) et des arbres logiques (démarche déductive) ; cette double démarche réalisée par les groupes de travail ouvre un espace de construction homomorphe/isomorphe qui nous a permis d'obtenir des arbres ayant des structures simples. Ce travail a toutefois demandé l'application de processus très délicats qui font émerger une correspondance surjective, telle qu'à tout élément présent dans les arbres correspond au moins un élément du Tableau A, sans que la réciproque ne soit vraie. Cette inclusion d'une correspondance homomorphe lors de la réalisation des arbres logiques ne figure pas clairement dans la proposition initiale de MOSAR, elle a néanmoins été jugée indispensable par le groupe de base.

3.3.3. Activité 4A. « Négociation des objectifs de prévention »

Notre étude proposant une vision intégrale du cycle minier qui comporte les dimensions liées à la santé, à la sécurité industrielle et à la protection de l'environnement, l'évaluation de risques doit être une opportunité de visualisation globale des différents événements critiques étudiés. La définition de critères d'évaluation compatibles pour chacune des dimensions étudiées est néanmoins nécessaire au développement d'une grille gravité-probabilité.

3.3.3.1. Détermination d'une grille Gravité*Probabilité

Le processus de réflexion pour la sélection des critères d'évaluation fut guidé par la publication de l'Arrêté du 29 septembre 2005 relatif à « l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation » [22]

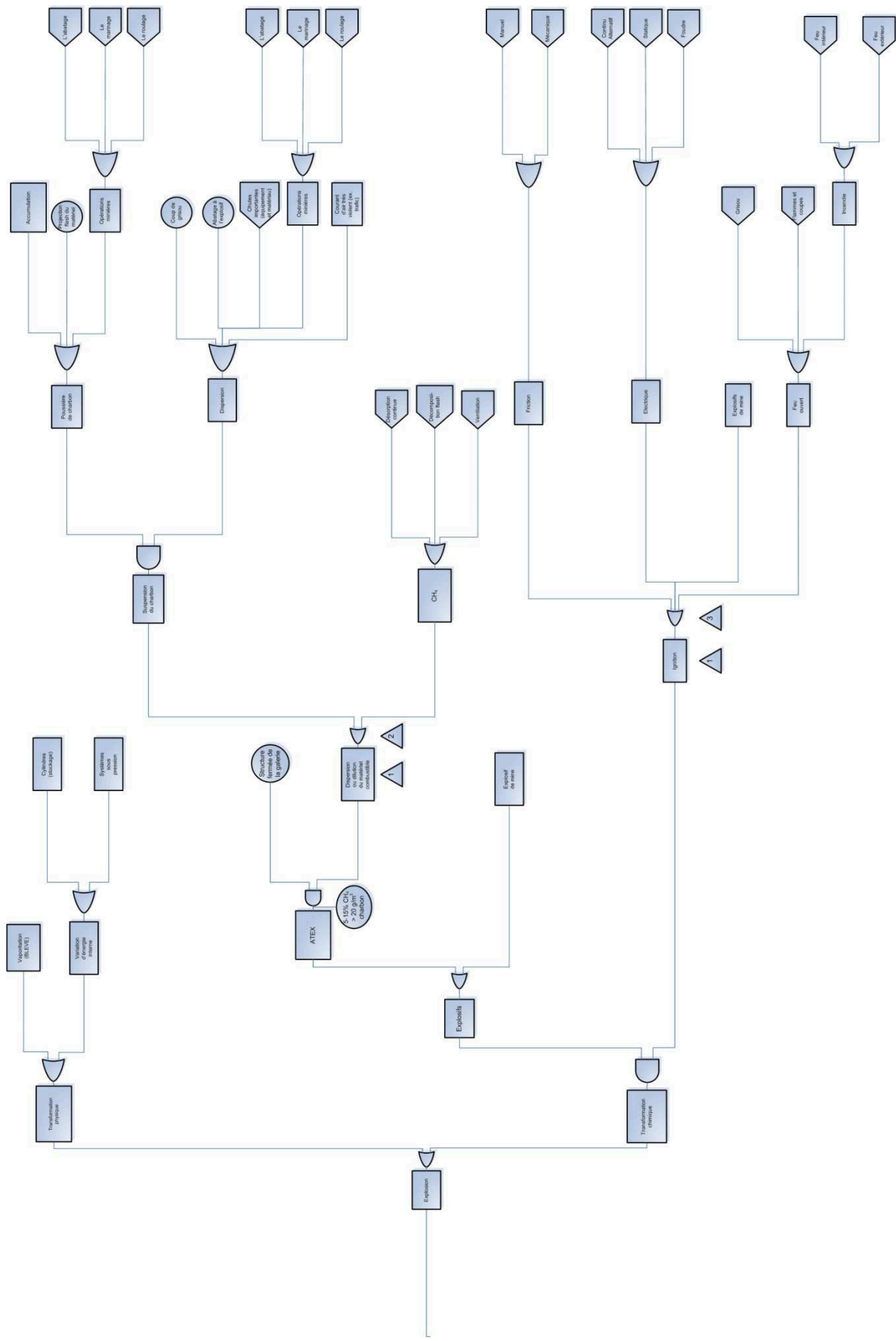


Figure 25. Arbre logique d'une explosion dans les extractions souterraines

L'origine de cet Arrêté ministériel est du domaine des installations classées soumises à autorisation, les échelles utilisées sont impaires semi-quantitatives et quantitatives qui permettent de classer les événements critiques dans des grilles 5x5. Pensant que les probabilités apportent indéniablement des éléments de choix, de communication et de décision nous avons décidé de réutiliser les critères de probabilité présentés dans cet arrêté.

Pour définir l'échelle de gravité nous avons rassemblé de multiples propositions qui permettent de présenter et de classer les impacts sur l'homme, l'environnement, les infrastructures et l'image publique. Le consensus obtenu à issue de cette étude nous permet de proposer la grille 5x5 ainsi que la frontière d'acceptabilité présentées dans la Figure 26,

Cibles				Probabilité				
Homme	Infrastructures	Environnement	Image publique	< 1 50 année	1/30 année	1 10 année	1 5 années	1 1 année
				10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	
+ 1 mort	Destruction totale	Dégâts irréversibles	Impact international	Red	Red	Red	Red	Red
1 blessé	Dégât avec arrêt	Dégâts importants	Impact national	Green	Red	Red	Red	Red
Blessure grave	Dégâts avec arrêt partiel	Importants dégâts localisés	Impact régional	Green	Green	Green	Red	Red
Blessure légère	Dommages légers	Dégâts mineurs	Impact mineur	Green	Green	Green	Green	Green
Pas de blessure	Pas de dommage	Pas de dégât	Sans impact	Green	Green	Green	Green	Green

Figure 26. Grille gravité x probabilité (GxP) utilisée

3.3.3.2. Localisation des scénarios d'accident

La localisation des scénarios proposés sur une grille gravité-probabilité est un outil puissant à cause de l'intégration multidisciplinaire de l'étude, tout en générant un effet comparatif entre les différents scénarios étudiés. Ce processus s'est accompli en trois étapes :

1. Retour d'expérience : nous avons utilisé les deux correspondances isomorphiques entre le retour d'expérience international et la problématique colombienne. Le premier est une correspondance directe de l'événement dans une même temporalité et la seconde fait référence à une correspondance historique des pays ayant une tradition minière en relation avec la situation actuelle de la Colombie. Il faut alors bien entendu considérer que la problématique colombienne actuelle correspond à celle vécue par d'autres pays il y a quelques dizaines d'années.

2. Localisation des scénarios par le groupe de base : grâce à des processus d'autoréférence et prenant en compte le retour d'expérience, il fut proposé une première localisation des scénarios étudiés dans la grille GxP.
3. Correspondance homomorphique : Cette correspondance traduit le lien entre l'étude de la proposition issue du groupe de base par le groupe de correspondance homomorphique. Cela a pour finalité la validation et la communication de la localisation des différents scénarios. Une vision partagée, communicable émergea de ce processus qui analyse des perceptions pluridisciplinaires et multidisciplinaires. Ce processus a été fait par deux fois, durant les visites techniques faites en 2005 et 2006. Cette validation homomorphique est à notre avis un aménagement positif de la proposition originale de MOSAR qui utilise une correspondance isomorphique.
4. La Figure 27 présente le résultat de ce travail, où l'on explique l'évolution des preuves isomorphiques-polymorphiques. Ce résultat est un premier produit communicable de la perception du risque sur le territoire colombien vis-à-vis des trois scénarios étudiés.
5. La méthodologie MOSAR originale propose l'utilisation des tableaux B et D, de même que de la Grille 2, pour l'identification et la validation de barrières (Activité 5A). Des difficultés conceptuelles se sont présentées lors de la réalisation de ce processus et après la réalisation du Tableau B et de la Grille 2 pour chacun des sous-systèmes rendant nécessaire une nouvelle proposition liée aux barrières de sécurité.

Codes				Probabilités				
Homme	Infrastructures	Environnement	Image publique	<1/50 année	1/30 année	1/10 année	1/5 année	1/1 année
				10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	
1 mort	Dégâts irréversibles	Dégâts graves	Impact régional					S1 S2 S3
1 blessé	Dégâts graves	Dégâts graves	Impact régional					
Sécurité grave	Dégâts de sécurité partiels	risques graves localisés	Impact régional					
Sécurité légère	Dégâts légers	Dégâts légers	Impact mineur					
Pas de blessés	Pas de dommages	Pas de dégâts	Sans impact					

Figure 27. Positionnement des trois scénarios étudiés dans la matrice GxP¹⁷

¹⁷ S1 : les pneumoconioses (santé du mineur), S2 : l'explosion (sécurité minière) et S3 : l'effondrement (risques post-exploitation).

3.3.4. Activité 5A. « Définition des barrières »

Les deux types de barrières proposées par la méthodologie MOSAR sont des barrières de prévention et/ou de protection, au travers de matériels (barrières techniques, BT) ou de procédures (barrières utilisateur, BU). Elles sont destinées à interrompre ou modifier le scénario d'accident. Cette proposition n'est plus pertinente car elle n'inclut pas les derniers travaux liés aux barrières de sécurité qu'il nous fut nécessaire d'étudier vu la complexité de notre système.

3.3.4.1. Qu'est ce qu'une barrière ?

Le terme « barrière de sécurité » est largement utilisé depuis les années 80. Cela définit la fonction ou l'objet capable d'éliminer ou de diminuer l'évolution d'un événement et sa propagation dans une chaîne d'événements non souhaitables. L'évolution scientifique, les standards et pratiques ont fait renaître des termes comme : défense en profondeur, couches d'analyses de protection, fonction critique de sécurité et design pour la sécurité, pour définir et conceptualiser les barrières.

Comme résumé de ces travaux, nous pouvons citer : « les directives pour une automatisation sûre des procédés chimiques » [77], « couches de protection, analyse simplifiée de l'estimation du risque procédé » [78] « Principes de base de la sécurité dans les centrales nucléaires » [79], « sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/programmables liés à la sécurité, partie 1-7 » [80], « Fonction sécurité-sécurité des systèmes instrumentés dans le secteur des industries de procédés » [81], « Industries du gaz naturel et du pétrole - installations de production off-shore - Guide et techniques d'identification du danger et l'évaluation du risque [82] et « Contrôle et mitigation des incendies et des explosions sur des installations de production off-shore - exigences et directives [83].

Il n'existe pas actuellement de base conceptuelle commune et ceci même si les pratiques et les standards tentent de donner un peu de clarté aux différentes typologies de barrières, en effet nous n'avons actuellement que de multiples interprétations étroitement liées à leurs domaines d'application. Néanmoins, durant ces dernières années, de nouveaux concepts comme ARAMIS [84], Design de sécurité (DfS) [85] et les travaux de S. Sklet [86], proposèrent de nouvelles définitions, ainsi que des classifications et typologies qui ouvrent la discussion pour la construction d'une base conceptuelle commune en Europe.

3.3.4.2. Définir une barrière de sécurité

L'utilisation d'un modèle pour l'analyse de risques dans un système technico-social a été généralisé et formalisé sous la forme du

mécanisme Danger/Barrière/Cible (Hazard/Barrier/Target - HBT) [18]. Ce modèle est très pédagogique pour présenter le rôle d'une barrière de sécurité, mais il n'explicite ni le système, ni les environnements actifs et passifs dans lesquels se trouvent la source et la cible (Figure 28).

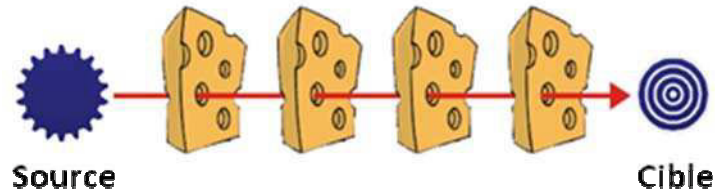


Figure 28. Représentation du modèle HBT, sous la forme dite du « fromage suisse »

On utilise normalement pour la définition des barrières de sécurité des éléments de fonction et de système. Il est donc important de clarifier les différences existantes entre barrière, fonction et système de sécurité.

3.3.4.2.1. Barrière de sécurité

Nous utilisons la définition suivante pour expliciter le terme « barrière de sécurité » :

« Ce sont les moyens physiques et/ou non-physiques pour éviter, prévenir, contrôler, protéger et mitiger des événements non souhaités ou des accidents »

3.3.4.2.2. Fonction de sécurité

La fonction de sécurité a une relation directe avec la séquence d'événements ou accidents (conditions normales / phase initiale / phase finale / phase de dommages). Haddon propose ces trois stratégies centrales pour le contrôle du danger : élimination/réduction, contrôle de l'énergie ou mitigation [18]. Cette première proposition a évolué avec les travaux de Kletz [87], Schupp [85], Duijm [88], Goossens [89], Johnson [90], Perilhon [19, 21]. Grâce à ces recherches, nous pouvons définir la fonction de sécurité comme :

« C'est une fonction faite pour éviter, prévenir, contrôler protéger et/ou mitiger des événements non souhaités ou des accidents. »

3.3.4.2.3. Système de sécurité

Le système de sécurité a une ou plusieurs fonctions dans une action. Il y a plusieurs classifications pour déterminer sa structure, mais généralement elles ont une vision classique (mais généralement elles ont un point de vue comparable au contrôle du procédé) du contrôle du procédé (capteur-décision-

action). Néanmoins, dans le cadre de ce travail, nous définissons le système de sécurité comme :

« C'est un système dimensionné ou implémenté pour exécuter une ou plusieurs fonctions de sécurité » [86]

Grâce à ces définitions, nous proposons une classification de barrières qui utilise ces fonctions et ces systèmes (Figure 30 et Tableau 17). C'est une composition qui est issue des concepts proposés par les auteurs précédemment cités. Nous ajoutons également quelques recommandations, et nous avons donné une structure commune en utilisant une séquence amplifiée d'un événement ou accident.

Système de barrière	Définition	Exemple
Humain : procédure active	Barrière avec détection humaine/ diagnostic/action réalisés par un opérateur.	Législation, procédures, évacuation, actions coordonnées,.
Symbolique : avertissement actif	Barrière avec une détection instrumentée ou un diagnostic et une action opérateur.	Alertes de sécurité, affichages.
Active : mécanisme à la demande	Barrière avec détection, diagnostic et action par un mécanisme.	Systèmes type sprinkler, soupapes de sécurité.
Active : activation automatique	Barrière avec détection par un mécanisme, le diagnostic et l'activation sont gérés par un logiciel.	Système de contrôle avec un appareil programmable (ex : PID).
Active : activation manuelle	Barrière avec un système de détection, diagnostic et action opérateur.	Arrêt ou ajustement manuel en réponse à une détection ou une alarme.
Active : software d'activation assisté	Barrière avec détection par un mécanisme, le diagnostic et l'action sont gérés par un logiciel, mais la validation (le contrôle) est réalisé par un opérateur.	Systèmes experts
Passive : active permanente	Barrière actionnée par un mécanisme. Nécessite un diagnostic et une activation par un autre procédé ou un opérateur.	Eclairage, systèmes d'inertage, ventilation, supprimeur d'explosion, dégivrage.
Passive : passive temporaire	Barrière actionnée par un mécanisme ou déclenchée par un opérateur.	Equipements de protection individuelle, inhibiteurs.
Passive : intrinsèque	Propriété des équipements.	Epaisseur d'un l'équipement, compatibilités, caractéristiques, etc.
Passive : ajout	Barrière actionnée par un mécanisme, ajout sur un appareil principal.	Système de captage ou de confinement secondaire, systèmes de drainage, mise à la terre, etc.

Tableau 17. Les systèmes de barrière et leur définition

Que peut-on comprendre par séquence amplifiée d'un accident ? Comme nous l'avons dit dans la définition de barrière, l'action prise doit être en relation directe avec la

séquence d'événement ou d'accident. Ceci est traditionnellement défini par la séquence « conditions normales / phase initiale / phase finale / phase de dommages » [91], mais cette séquence ne considère pas les événements générés dans la phase de conception, et ceux-ci sont continuellement signalés comme initiateurs dans les analyses post-accidents. L'incorporation de cette phase dans une étape primaire donne des privilèges aux fonctions, comme éviter et prévenir et renvoi systématiquement à un processus de réflexion sur la séquence d'événements lors des études de dimensionnement.

Plusieurs fonctions de sécurité et une série de systèmes de sécurité peuvent être utilisées pour chacune des phases d'événement ou d'accident. Il faut se rappeler qu'un système de sécurité peut avoir une ou plusieurs fonctions. Cette proposition doit donc être vue comme une boîte à outils qui facilite l'identification et la classification des barrières tout en donnant une unité dans l'élément que nous considérons comme barrière de sécurité.

3.3.4.3. Barrières réglementaires

Peut-on considérer une réglementation (ex. législation nationale ou communautaire, pratiques reconnues internationalement, standards, etc.) comme une barrière de sécurité ? Nous pensons que la réponse est OUI.

Comment peut-on classer les barrières réglementaires en fonction des définitions précédemment citées ? Une barrière réglementaire est présente durant toute la séquence d'événements. Ses fonctions sont bien d'éviter, de prévenir, de contrôler et de réduire, et son système peut être considéré comme « humain : procédure active », mais il ne faut pas oublier qu'une barrière réglementaire peut déclencher l'arrivée d'autres systèmes de barrières sur le procédé.

L'ensemble de standards liés à la protection de l'environnement, à la sécurité industrielle et à la santé au travail sont les points qui doivent être étudiés par les personnes en charge de la prévention, du contrôle, de la protection et de la mitigation des événements non souhaités. Une fonction de sécurité doit bien entendu être affectée aux standards utilisés.

Le développement normatif peut être considéré comme un processus d'amélioration continue qui est bien souvent le produit de différents facteurs comme : l'appropriation technologique, la culture, la connaissance du danger, l'acceptabilité du risque, la tolérance vis-à-vis du risque. Comme l'a écrit Beck [73] « ... l'apparition de victimes, d'autres effets secondaires ou d'événements futurs génèrent l'action... ». En simplifiant : une action réglementaire est

habituellement une action a posteriori. (ex. Aznalcollár-Espagne 1998 et COM (2000) 265 [92]).

Dans un processus de globalisation, il est normal que le risque social coexiste avec le risque industriel. Ulrich Beck parle de ce phénomène mondial en disant que : « ... le prolétariat de la société mondiale du risque vit dans les cheminées, près des raffineries et des industries chimiques, dans les centres industriels du Tiers Monde. » [73]. Il est clair que le transfert des procédés et des activités industrielles vers les pays du Tiers Monde ne conduit pas nécessairement à un transfert des connaissances des risques associés.

C'est dans ce contexte que nous développons les trois hypothèses de notre proposition :

- Il est possible grâce à la méthodologie MADS/MOSAR d'analyser le système pour l'évaluation des risques du secteur et de suggérer l'implantation de barrières.
- Il est possible de dimensionner des barrières réglementaire d'une manière a priori dans un processus de transfert technologique.
- L'analyse peut être faite au travers de la construction de scénarios d'événements critiques qui permettront d'évaluer la pertinence des barrières réglementaires.

Nous allons maintenant relier la fonction de la barrière avec la séquence des événements non souhaités (Figure 29). Pour chaque flux déterminés en amont, nous allons utiliser des stratégies pour éviter, prévenir et contrôler. En opposition, en aval, les fonctions de la barrière seront de limiter, réduire et mitiger.

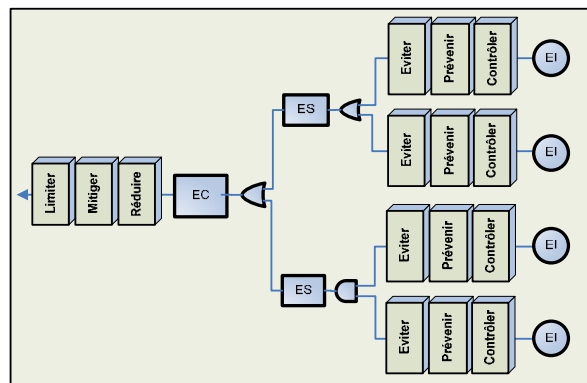


Figure 29. Fonction de barrière dans des séquences d'événements (EI : Événement initial, ES : Événement secondaire, EC : Événement critique)

Barrières de sécurité		Séquence d'événements ou accident			
		Conception	Conditions normales	Phase initiale	Phase finale
Fonction de sécurité	<p>Eviter</p> <p>Prévenir</p>	<p>Eviter</p> <p>Prévenir</p>	<p>Contrôler</p>	<p>Contrôler</p>	<p>Limiter</p> <p>Réduire</p> <p>Mitiger</p>
Système de sécurité (catégories de barrières)	<p>Humain : procédure active</p> <p>Symbolique : avertissement actif</p> <p>Active : activation assistée par logiciel</p>	<p>Humain : procédure active</p> <p>Symbolique : avertissement actif</p> <p>Active : mécanisme à la demande</p> <p>Active : activation automatique</p> <p>Active : activation manuelle</p> <p>Active : activation assistée par logiciel</p> <p>Passive : active permanente</p> <p>Passive : temporairement passive</p> <p>Passive : intrinsèque</p> <p>Passive : ajout</p>	<p>Humain : procédure active</p> <p>Symbolique : avertissement actif</p> <p>Active : mécanisme à la demande</p> <p>Active : activation automatique</p> <p>Active : activation manuelle</p> <p>Active : activation assistée par logiciel</p> <p>Passive : active permanente</p> <p>Passive : intrinsèque</p> <p>Passive : ajout</p>	<p>Humain : procédure active</p> <p>Symbolique : avertissement actif</p> <p>Active : mécanisme à la demande</p> <p>Active : activation automatique</p> <p>Active : activation manuelle</p> <p>Active : activation assistée par logiciel</p> <p>Passive : active permanente</p> <p>Passive : temporairement passive</p> <p>Passive : intrinsèque</p> <p>Passive : ajout</p>	<p>Humain : procédure active</p> <p>Symbolique : avertissement actif</p> <p>Active : mécanisme à la demande</p> <p>Active : activation automatique</p> <p>Active : activation manuelle</p> <p>Active : activation assistée par logiciel</p> <p>Passive : active permanente</p> <p>Passive : temporairement passive</p> <p>Passive : intrinsèque</p> <p>Passive : ajout</p>

Figure 30. Classification des barrières de sécurité.

Nous avons réalisé une analyse de ce type sur le cas colombien et identifié les fonctions assignées à chaque instrument réglementaire. Nous pouvons trouver dans l'arbre logique les barrières associés aux événements non souhaités (annexes A.3, A.4 et A.5). Cet exercice nous permet d'obtenir une très bonne visualisation de la distribution, de la localisation et des stratégies définies par le cadre réglementaire colombien pour l'administration des événements critiques.

Cette étude a pu être réalisée suite à des modifications sur la méthodologie originale de MOSAR (Tableau 18), certaines sont de faible intensité, d'autres comme l'utilisation d'une typologie de barrières peut être considérée comme significatives car elles peuvent ouvrir de nouvelles opportunités d'utilisation.

Activités	Modifications	Intensité
A1	Formalisation avec la SLM	☆
A2	-	-
A3-A4	Inclusion des correspondances iso et homomorphiques pour la construction des scénarios et l'évaluation des risques	☆☆
A5	Utilisation d'une typologie et classification des barrières	☆☆☆

Tableau 18. Modifications apportées sur la méthodologie originale de MOSAR

Il est également possible d'identifier les séquences d'événements non souhaités qui peuvent générer des événements critiques et qui disposent déjà de barrières réglementaires. Cette identification est fondamentale car elle ouvre des possibilités d'actions pour le développement de futures réglementations. Cela nous donne une véritable cartographie réglementaire et nous permet de proposer de nouvelles fonctions de barrière destinées à améliorer les situations existantes.

D'après les groupes de correspondance homomorphique, (Ministère des Mines et de l'énergie et Ministère de la Protection Sociale) cette classification de barrières n'a jamais été réalisée sur ce secteur d'activité colombien. Notre travail est un outil qui doit permettre une vision globale liée à l'identification et à la représentation des événements non souhaités. Le chapitre suivant va développer ce type d'analyse au travers des scénarios d'explosion, d'effondrement et de silicose.

Chapitre 4 : Analyse des résultats

Introduction

Cette évaluation étudie la pertinence des instruments réglementaires colombiens pour l'élimination, la prévention, le contrôle et la mitigation des flux de dangers non souhaités, vis-à-vis de la protection de la population, des travailleurs, de l'environnement et des infrastructures.

Le cadre de référence de l'exploitation minière souterraine en Colombie est défini par trois instruments réglementaires locaux (plan d'occupation des sols) et nationaux (protection de l'environnement et de l'exploitation durable des ressources minières). L'interaction de ces trois instruments recherche la création de synergies lors de l'exploitation des minéraux. Ces trois instruments sont pilotés au niveau national par les Ministères de l'Environnement de l'Habitat et du Développement Territorial, de la Protection Sociale, des Mines et de l'Énergie, et de l'Intérieur et de la Justice.

La coordination des activités entre l'autorité environnementale (Ministère de l'Environnement de l'Habitat et du Développement Territorial) et l'autorité minière (Ministère des Mines et de l'Énergie) est clairement décrite dans les instruments existants mais elle ne développe malheureusement pas de synergies avec les autres autorités. **En conséquence, et malgré les efforts du gouvernement colombien, il n'existe actuellement pas de coordination suffisante qui permettrait l'existence d'un programme national d'administration du risque minier.** Comme preuve nous pouvons noter l'absence de méthodologie globale, de guides techniques et d'instruments réglementaires entre l'autorité minière et les autres acteurs du secteur.

Concernant les instruments réglementaires existants, ils ne possèdent pas une vision globale liée au cycle de vie d'un projet minier, car ils se focalisent essentiellement sur les étapes d'exploration et d'exploitation. Les textes réglementaires traitent sommairement de la fin d'activités, mais il n'existe aucun guide ou étude permettant de guider cette phase de vie. Cette fin d'activité n'est regardée que de façon superficielle via le PTO (Plan de Travail et d'Ouvrage) au travers de la composante paysage, mais ne promeut pas le développement d'un processus de réflexion qui engloberait les scénarios présentés dans le Tableau 13 (chapitre 2). Il faudra que le gouvernement colombien s'interroge sur la manière dont il devra assumer l'administration des risques post-exploitation en tant que propriétaire du sous-sol national.

Un des avantages des programmes globaux de gestion du risque minier est la visualisation des dangers et des impacts non souhaités durant les différentes phases de vie du projet. Si l'on identifie par exemple un flux de dangers qualifié de non souhaité durant la phase de post-exploitation, **il sera alors possible d'étudier plusieurs alternatives que l'on pourra appliquer sur des phases antérieures afin d'éliminer, de prévenir et de mitiger l'événement non souhaité.** Il existe de nos jours plusieurs expériences et outils nationaux ou internationaux de ce type, nous pouvons citer : le Plan de Prévention de Risque Minier (France), la réglementation applicable aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (transpositions des directives SEVESO), ainsi que différents instruments développés entre autres par les États-Unis et le Canada. La stratégie adoptée est différente pour chacun de ces pays, mais son apparition a toujours coïncidé avec le développement d'instruments réglementaires destinés à l'évaluation des impacts et des dangers environnementaux ainsi qu'à la maîtrise des processus par les autorités compétentes. Cette

évolution réglementaire est très souvent le produit d'analyses post-accidents, où l'on étudie des scénarios comme l'émission de gaz de mines (ex : Radon), l'effondrement partiel ou total, l'accumulation des déchets, etc.

La Colombie a utilisé, comme base du développement de sa législation environnementale, des instruments développés par des pays comme les Etats-Unis, le Canada, l'Allemagne, et la France, qui possèdent des critères clairement identifiés pour l'évaluation des impacts. Dans sa plus grande partie, la transposition réglementaire se fait au travers de coopérations bilatérales, qui généralement ne génèrent pas un processus de réflexion suffisant autour de la pertinence du nouvel instrument en adéquation avec les problématiques colombiennes, mais sont toutefois une force motrice indispensable pour l'évolution du système réglementaire. Ces activités sont impulsées par les autorités environnementales compétentes sous l'égide du Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et du Développement Territorial.

L'évolution réglementaire est bien différente dans le cas de la prévention des accidents industriels majeurs. Nous avons demandé à la Direction du Développement Sectoriel du Ministère de l'Environnement de l'Habitat et du Développement du Territoire sa compétence sur le sujet. Cette dernière nous a signalé que la responsabilité nationale était sous la gouverne du Ministère de la Protection Sociale (Direction Nationale de la Santé au Travail). Nos demandes d'informations à cette dernière Direction n'ont obtenu qu'une réponse officielle nous signalant qu'ils étaient bel et bien responsables mais uniquement pour ce qui est du point de vue « santé au travail ». Cela met clairement en évidence le vide institutionnel existant qui génère une gestion approximative et désarticulée de la problématique.

L'utilisation d'un seul point de vue lors d'une analyse de risques, vision mono-disciplinaire souvent réalisée à l'aide du modèle HBT (Hazard/Barrier/Target), fait apparaître les accidents comme produits de processus causal qui sont bien loin des conditions spécifiques déterminés par les champs de dangers. Cette vision mono-disciplinaire ne prend pas en compte les relations importantes issues des événements initiaux, initiateurs et renforçateurs, et se focalise sur les dangers intrinsèques. Cela revient à faire une simplification et à appliquer une logique classique sur un modèle complexe.

L'administration des risques se développe en Colombie au travers de l'écriture de publications réglementaires qui abordent de manière frontale la mise en œuvre des systèmes de barrières tout en oubliant leurs fonctions. Cela ne doit pas nous surprendre car ce type d'instruments est le produit de réflexions post-accidentelles à travers un point de vue mono-disciplinaire qui utilise fréquemment des systèmes de barrière de type ajout (add-on). L'un des principaux désavantages de ce type de stratégies est d'être difficilement mis à jour et qu'il ne permet pas l'inclusion et le développement aisé d'un programme autonome de maîtrise des risques.

L'une des meilleures stratégies pour le développement de programme autonome est l'inclusion des méthodes et des méthodologies d'analyse des risques dans les instruments réglementaires. Ces d'instruments génèrent des processus systémographiques dans lesquels l'autorité compétente dessine le cadre logique d'analyse et détermine l'acceptabilité du

risque. L'industriel doit alors accepter et assumer la totale responsabilité de l'analyse, du positionnement des barrières et des éventuelles conséquences liées à son installation¹⁸.

Nous pouvons trouver dans cette catégorie d'instruments la majorité des textes pour l'évaluation des impacts, de même que les transpositions des directives SEVESO faites par les membres de l'Union Européenne et le Programme Risk Management des Etats-Unis.

Il est judicieux de travailler dans un premier temps sur l'élaboration et la conception d'instruments d'analyse complémentaires a priori et a posteriori qui permettront de fixer les limites d'acceptabilités des risques (« l'appétit du risque ») à l'échelle nationale. Malheureusement, aucun de ces éléments n'a été développé pour le territoire colombien et la désarticulation des systèmes disciplinaires ne permet même pas de faire une approximation intégrée. Pour pallier ce manque, il est pertinent de concevoir des instruments utilisant une approximation phénoménologique du mécanisme de dangers. Une fois qu'une autorité compétente sera désignée, elle pourra générer des opportunités pour la création d'un programme national portant sur le management intégré des risques industriels.

Nous devons remarquer que l'Etat ne possède pas le monopole de la mise au point du contrôle des activités extractives. Nous pouvons par exemple noter le rôle possible des initiatives populaires qui sont un outil très puissant, comme l'exemple de la ville de La Jagua de Ibirico (département de Cesar) où une initiative civile constitua un groupe d'étude chargé d'étudier les problématiques environnementales associées aux futures exploitations de charbon. La constitution de ce groupe tripartite (population, ministères colombiens et industriel minier) fut réalisée suite à une demande formulée par la société américaine Drummond qui souhaite développer la plus grande exploitation charbonnière du pays à moins terme. Ce groupe d'étude montra la nécessité de faire une évaluation environnementale stratégique de la zone qui va être réalisée par l'Unité de Planification Minière Energétique (UPME) du Ministère des Mines et de l'Energie.

Nous allons maintenant analyser les instruments réglementaires colombiens existants vis-à-vis des scénarios étudiés (explosion, effondrement et de silicose) ainsi que la pertinence de l'utilisation de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR pour l'analyse des méga-systèmes.

4.1. Analyse des instruments réglementaires

4.1.1. Code des mines : Loi 685 de 2001

Ce nouvel instrument réglementaire est une initiative du gouvernement colombien destinée à dynamiser le secteur minier. Son élaboration et sa publication furent un sujet conflictuel entre le gouvernement, les organisations syndicales et les représentants des minorités ethniques, vu son possible impact négatif sur les petits producteurs et le fait qu'il peut privilégier l'arrivée de multinationales. Nous devons noter que l'analyse réalisée dans ce travail correspond à une étude sous l'angle « génie des

¹⁸ Cette proposition, n'exclut pas le développement de documents techniques liés à la détermination des systèmes de barrière, si le législateur le considère comme pertinent. Ce type de scénario est possible lorsque l'on utilise une fonction de barrière de type « éviter » (avoid).

procédés » qui ne prend pas en compte les problématiques socio-économiques et/ou de conflit, comme celles que nous venons de citer.

Le code des mines devient un cadre de référence large et flexible, qui cherche à établir une coordination entre l'industriel minier et l'autorité minière nationale comme principal interlocuteur de l'état colombien. De ces principaux apports, nous pouvons souligner le développement d'une procédure unique pour l'obtention de la licence environnementale globale. Sa structure moderne laisse des possibilités pour l'inclusion de futurs instruments réglementaires et présente deux acteurs pour ce processus : le Ministère des Mines et de l'Énergie et le Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et du Développement Territorial.

Dans son article 199, **il demande à ces deux acteurs l'adoption concertée de termes de référence normalisés, applicables lors de l'élaboration, de la présentation et de l'approbation des études environnementales liées au secteur minier**, de même que la publication de guides techniques pour promouvoir la gestion environnementale[36]. *A travers la résolution n°18-0861 du 20 août 2002*, le Ministère des Mines et de l'Énergie a adopté les guides minier-environnementaux pour l'exploration, l'exploitation, l'enrichissement et la transformation des matières premières [93]. Même si leurs objectifs principaux sont l'analyse d'impacts, ils incluent un dernier chapitre qui propose quelques méthodes pour la réalisation d'une étude de dangers sous le point de vue de la sécurité industrielle. Les méthodes d'analyses d'impacts sont ainsi malheureusement présentées de manière découplées des études de dangers dans ces guides. Ceci est surprenant, lorsque l'on sait que les guides ont été développés il y a quatre ans en collaboration avec le Canada et que le retour d'expérience de ce pays incorpore des instruments réglementaires globaux. Nous considérons cet exemple criant comme représentatif d'une politique de globalisation qui utilise une stratégie multi-locale (cf. chapitre 2).

Les présentations des méthodes d'analyse des dangers sont formulées de façon légère et parfois inappropriée dans ces guides. Elles promeuvent l'utilisation d'instruments « magiques » pour l'identification des dangers intrinsèques lors des processus d'exploitation et ne font pas le lien avec les programmes d'amélioration de la santé au travail et de protection environnementale. Ces outils « magiques » utilisent le modèle HBT (Hazard/Barrier/Target) et appliquent spontanément des systèmes de barrière oubliant d'étudier les mécanismes de dangers¹⁹. Pour tenter de soigner cette schizophrénie réglementaire, il serait pertinent de définir un cadre méthodologique général à un niveau logique supérieur qui pourrait être réalisé suite à l'utilisation d'un modèle du danger transdisciplinaire comme le modèle MADS.

¹⁹ Cela privilégie le point de vue « installation-installation », sans faire réfléchir réellement sur le flux de danger et les cibles possibles.

Le cadre méthodologique général coordonnerait le développement des trois guides thématiques qui incluraient : la méthodologie pour l'analyse de la santé au travail dans les mines, la méthodologie pour l'analyse d'impacts et la méthodologie pour l'analyse des dangers. Bien que ces trois guides puissent être considérés comme indépendants, ils pourront tout de même s'articuler afin d'être les murs porteurs d'un programme de management des risques, vis-à-vis de la protection du mineur, de la population, de l'environnement et des infrastructures. Ce processus peut être guidé par différentes normes reconnues internationalement comme les normes ISO 14000, ISO 33, OHSAS 18000, etc.

D'autre part, l'incorporation du modèle MADS comme élément commun à chacune des méthodologies, offre une vision phénoménologique partagée du mécanisme de danger, et peut générer une tension constructive, entre les différents points de vue disciplinaires. L'identification des mécanismes de dangers communs génère des discussions convergentes et non divergentes, produisant des analyses disciplinaires qui se tressent entre elles pour donner lieu à des programmes intégrés de management des risques (Figure 31). C'est ainsi que de la reconnaissance de la différence entre les disciplines, peut émerger sa complémentarité.

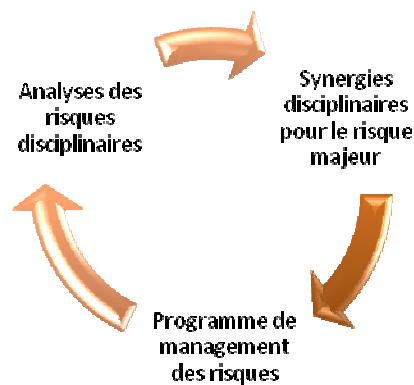


Figure 31. Relation entre les analyses de risques disciplinaires et leurs synergies, comme force motrice pour l'émergence de programmes de management des risques intégrés.

Le code minier introduit également la notion de dépôt de garantie qui couvre les obligations environnementales. Ces obligations sont présentées dans l'étude d'impact via les mesures spécifiques que l'on doit appliquer lors de l'abandon et de la fermeture définitive d'une exploitation. Au moment de la fermeture de l'exploitation, l'industriel doit verser une extension financière du dépôt de garantie pour une protection de trois ans supplémentaires. Ces dépôts de garanties sont utilisés en cas d'atteintes environnementales, mais il est nécessaire de développer de nouveaux instruments pour renforcer l'administration et la gestion à longs termes des risques post-exploitation [3].

Pour terminer, un instrument réglementaire de caractère général comme le code des mines, doit prendre en considération la totalité du cycle de vie d'un

projet minier. Malheureusement pour l'état colombien, ce cycle de vie n'est pas décrit dans sa totalité dans les contrats d'exploration et exploitation. Une fois ses obligations contractuelles atteintes l'entrepreneur va réaliser un transfert de responsabilité vers l'état colombien, cela inclut l'administration des risques résiduels imputables aux œuvres et travaux miniers ainsi que les éventuels passifs environnementaux. La loi 685 de 2001 ne promeut pas le développement d'instruments réglementaires destinés à doter l'autorité nationale compétente de l'information nécessaire et suffisante pour analyser les risques résiduels associés à une exploitation et à son évolution. De plus elle ne propose pas la création d'un système national de vigilance, de contrôle et de traitement de ces exploitations.

4.1.2. Résolution 02406 de 1979

La résolution 02406 de 1979 présente le règlement de sécurité minière lié à l'exploitation souterraine de charbon²⁰. Sa structure (**Tableau 19**) correspond à la vision qu'avaient les pays développés en 1950 pour ce qui est de la prévention, du contrôle et de la mitigation des accidents miniers. Sa stratégie est de fixer des niveaux d'acceptabilité pour différents dangers intrinsèques de l'activité et de déterminer de manière directe des systèmes de barrière vis-à-vis de la protection de mineur (santé au travail). Cette résolution ne se présente pas comme un instrument concerté entre les différentes autorités compétentes, mais est le produit d'une réflexion de l'ancien Ministère du Travail et de la Sécurité Sociale.

Titres de la résolution 02406 de 1979	
I. Ventilation	XVI. Autres risques professionnels, poudre de roche
II. Dispositions générales de ventilation	XVII. Risques physiques-éclairage
III. Ventilation auxiliaire	XVIII. Bruit-vibration
IV. Jaugeage, registre et plans de ventilation	XIX. Température et humidité relative
V. Transport	XX. Rééducation
VI. Soutènement des tunnels	XXI. Personnel médical et paramédical
VII. Stockage, transport et administration des explosifs	XXII. Equipements de Protection Individuels
VIII. Installations électriques	XXIII. Assèchement
IX. Contrôle des eaux superficielles et souterraines	XXIV. Organisation du programme de santé au travail
X. Prévention contre les d'incendies dispositions générales	XXV. Travail des femmes et des enfants

²⁰ Résolution abrogée par le décret 1335 de 1987

XI. Matériaux combustibles et inflammables	XXVI. Stations et centrales de sécurité et de sauvetage minier
XII. Bandes transporteuses	XXVII. Protection des aires urbaines
XIII. Précautions vis-à-vis des systèmes d'éclairage avec une flamme nue	XXVIII. Plans de la mine
XIV. Dispositions générales pour l'extinction des incendies	XXIX. Autorité compétente, visites, inspections
XV. Mines avec beaucoup de poussières fines de charbon en suspension dans l'atmosphère	

Tableau 19. Structure de la résolution 02406 de 1979 [37]

Cet instrument réglementaire fut l'un des premiers du gouvernement colombien axé sur l'administration du risque minier et est actuellement devenu (avec le décret 1335 de 1987) l'un de principaux outils pour la prévention des accidents dans les exploitations souterraines. Son cadre logique n'est pas facilement identifiable, mais peut être considéré comme une liste non exhaustive de systèmes sources de dangers et de systèmes de barrières. La conceptualisation des mécanismes de dangers n'est pas prise en compte par cette résolution, bien qu'elle soit étudiée au niveau mondial depuis les années 60. Cela donne très peu de flexibilité à l'industriel minier dans ces processus de gestion des risques [18]. Sa démarche se limite à l'implantation de systèmes de barrières dans des scénarios de proximité, sans promouvoir une analyse en amont ou aval (downstream, upstream) des événements critiques pour la construction des scénarios longs.

Malheureusement le fait de privilégier la construction de scénarios de proximité diminue les opportunités d'intervention et rend invisible les événements initiateurs particuliers à chaque exploitation. Sa structure permet de percevoir l'intention de développement d'un guide technique, qui inclut quelques titres ayant des niveaux hiérarchiques différents, comme la gestion des premiers secours, les personnels médicaux et paramédicaux, le programme de santé au travail, le travail des femmes et des enfants, le sauvetage minier et la protection des aires urbaines.

Cet instrument réglementaire présente d'une façon indiscriminée différents niveaux hiérarchiques, il est ainsi possible de confondre les niveaux tactiques avec les stratégies, les systèmes de pilotage avec les systèmes opérants, les systèmes de barrières avec leurs fonctions, les méthodologies avec les méthodes et les technologies avec les opérations.

Il n'est ni rare ni étonnant que la création d'instruments réglementaires sous le point de vue de l'expert, favorise l'implantation de systèmes de barrière basés sur l'identification des sources de dangers, des dangers intrinsèques et des événements critiques, créant automatiquement des processus

d'implémentation des barrières, sans générer la moindre réflexion sur les mécanismes de danger. Un instrument réglementaire qui utilise cette stratégie devient facilement vérifiable, mais n'engendre pas les niveaux d'autonomie suffisants pour une gestion intégrale du risque minier.

Il est également intéressant d'analyser la qualification des systèmes de barrières. Dans cet instrument on ne parle pas des critères de qualification et on assume que la vérification de son implantation est suffisante pour administrer un événement critique. Des notions comme la disponibilité, la confiance, la capacité, la robustesse, etc. ne sont pas prises en compte, cela créé un processus simplifié pour la gestion du risque minier. D'un point de vue systémographique cela correspond à l'utilisation d'un unique système général qui détermine une sélection restreinte de modèles, pour lesquels on obtient des preuves isomorphiques mais non homomorphiques, mettant les systèmes de barrières comme point focal sans prendre en compte les spécificités du processus extractif.

Sa pertinence pour l'administration des événements critiques comme l'explosion, l'effondrement et la silicose n'est pas des plus claires... Même si l'on identifie des barrières qui peuvent réduire ou modifier les flux de dangers, on ne favorise pas l'autonomie d'un système de maîtrise des risques. Cette autonomie émergera d'une analyse « bottom-up », où l'on part des particularités du processus extractif pour arriver aux processus de gestion. Cette analyse sera guidée par des dispositions nationales qui traceront le cadre minimal de référence ainsi que des critères clairs d'acceptabilité des risques vis-à-vis de la protection de la population, de l'environnement, du secours minier et de la sauvegarde des infrastructures.

4.1.3. Décret 1335 de 1987

Le décret 1335 de 1987 présente des éléments très similaires à la résolution 02406 de 1979, mais présente une meilleure organisation de son contenu (Tableau 20). Il est directement issu de la réglementation précédente et il propose la création d'un système national de sauvetage pour le secteur minier, et assigne des responsabilités à différentes institutions nationales pour le contrôle, l'investigation et le développement législatif du secteur minier, qui sont actuellement toujours inexistantes.

Décret 1335 de 1987	
Titre I : Dispositions générales i. Généralités ii. Responsabilités iii. Comité de médecine, hygiène et sécurité industrielle de l'entreprise iv. Autorité compétente v. Registres et plans	Titre VIII : Machines et outils i. Dispositions générales ii. Cabestans iii. Fils iv. Outils manuels
Titre II : Ventilation i. Dispositions communes à tous les travaux souterrains ii. Dispositions spécifiques aux mines	Titre IX : Prévention et extinction des feux et incendies

grisouteuses	
Titre III : Contrôle de la poussière i. Poussière inflammable ii. Poussière respirable	Titre X : Hygiène, conditions de travail et sauvetage minier i. Eclairage ii. Bruit iii. Climatologie iv. Equipements de protection individuels v. Services médicaux et paramédicaux vi. Sauvetage minier
Titre IV : Soutenance i. Généralités	Titre XI : Drainage i. Eaux superficielles ii. Eaux souterraines
Titre V : Transport i. Transport dans les galeries ii. Marinage iii. Locomotives Diesel iv. Bandes transporteuses v. Silos et trémies	Titre XII : Dispositions complémentaires i. Définitions ii. Normes qui déterminent les caractéristiques des barrières de poussière ou d'eau iii. Statut de sauvetage minier
Titre VI : Explosifs i. Généralités ii. Stockage et poudrières iii. Transport iv. Stockage temporaire à l'intérieur v. Utilisation vi. Dispositions spécifiques vis-à-vis du grisou et des poussières	Titre XII : Dispositions finales i. Exceptions ii. Sanctions iii. Vigueur
Titre VII : Electrification i. Utilisation, maintenance et vérification des installations ii. Protection contre le contact d'éléments sous tension iii. Prévention contre les incendies et explosions	

Tableau 20. Structure du Décret 1335 de 1987 [94]

Sa stratégie d'action a comme base la construction de scénarios de proximité, l'inclusion d'un guide technique pour l'implémentation de systèmes de barrière et le renforcement des autorités nationales comme instrument de contrôle. Même si le décret augmente le niveau d'autonomie, son principal instrument continue d'être une liste non exhaustive de systèmes de barrières applicables dans un univers d'événements peu clairs, ou s'incluent sans aucune distinction des systèmes source de dangers, des dangers intrinsèques, des scénarios et des effets.

Des critères d'acceptabilité différents de ceux publiés par la résolution 02406 furent générés par la publication de cet instrument réglementaire, comme une nouvelle typologie des extractions souterraines, les valeurs limites pour le monoxyde de carbone, les concentrations maximales de méthane autorisées et les niveaux minimum de ventilation. L'incorporation de nouveaux paramètres de référence correspond à une évolution réglementaire naturelle, et met en évidence la difficulté d'actualisation des critères techniques liés aux instruments réglementaires stratégiques.

Ce décret n'apporte malheureusement pas de modification substantielle sur les thèmes liés à l'administration d'événements critiques. Il ne promeut pas non plus la génération d'autonomie dans les systèmes intégrés du risque minier. Ses critères peuvent être considérés comme des avancées importantes dans la consolidation d'un système à un niveau national, mais cela ne se répercute pas directement dans l'identification des mécanismes de dangers à un niveau opérationnel.

Tout comme la résolution 02406, le décret 1335 se contente d'une typologie d'opérations souterraines, qui discrimine les niveaux d'analyse. Ceci peut impliquer que toute l'échelle de production, sans compter les techniques d'extraction, doit utiliser les systèmes de barrières proposés, et cela sans compter des dimensions telles que : la culture de production, les niveaux de transfert technologique, les niveaux d'investissements, les mécanismes de dangers émergents, etc.

D'autre part, une ratification par la Colombie de la convention OIT 176 qui traite de la sécurité et de la santé dans les mines, devrait promouvoir au travers du comité de santé au travail du secteur minier une évolution des instruments réglementaires et le développement d'un programme national de ce même secteur minier [52].

4.1.4. Loi 99 de 1993 et Décret 1220 de 2005

La loi 99 de 1993 possède un cadre de référence suffisamment large pour permettre l'apparition d'instruments réglementaires selon les principes du développement durable. Cet instrument articule avec clarté la compétence des différentes autorités environnementales nationales et régionales, générant une politique moderne vis-à-vis de la gestion globale du territoire.

Sur la base de cet instrument, la Colombie essaye de développer ses démarches légales pour la gestion environnementale des projets d'exploitation minière, vis-à-vis de la protection, de la conservation, de la récupération et de l'amélioration environnementale dans les zones affectées par ce type d'activité. **Son principal instrument est la licence environnementale globale** à travers de laquelle l'autorité environnementale donne l'autorisation d'exécutions d'œuvres et d'activités ainsi que pour l'exploitation de minéraux. Une fois la licence délivrée, on demande à l'industriel de développer **un plan d'administration environnemental** (PAE) pour chacune des œuvres ou activités, ce programme autonome peut être contrôlable par l'autorité environnementale.

Lors de sa demande de licences, l'industriel doit présenter les Etudes d'Impacts Environnementaux (EIE), basées sur des Termes de Référence. Ces derniers sont l'ensemble des linéaments de l'autorité environnementale qui déterminent un guide méthodologique pour l'élaboration des EIE. Si la zone d'influence d'un projet minier mérite l'inclusion de conditions spéciales dans

les Termes de Référence, on autorise alors l'autorité environnementale compétente à les inclure, générant alors un instrument flexible pour l'analyse des propriétés émergentes.

De manière générale un EIE doit présenter :

1. L'objet et le but de l'étude.
2. Un résumé de son contenu.
3. La délimitation de l'aire d'influence directe et indirecte du projet, de l'œuvre ou de l'activité.
4. La description du projet, œuvre ou activité, qui inclura : la localisation, les étapes, les dimensions, les coûts estimés, le chronogramme de l'exécution, les procédés utilisés, l'identification et l'estimation des matériaux, produits, résidus, émissions, déversements, ainsi que les risques inhérents à la technologie utilisée, ses sources et ses moyens de contrôle.
5. L'information sur la compatibilité du projet avec les usages du sol définis dans le Plan d'ordre territorial (POT).
6. Une information sur les ressources naturelles renouvelables qui vont être utilisées ou affectées pour le développement du projet, de l'œuvre ou de l'activité.
7. L'identification des communautés et des moyens utilisés pour les informer du projet, de l'œuvre ou de l'activité.
8. La description, la caractérisation et l'analyse des moyens biotique, abiotique, socioéconomique dans lesquels le projet, l'œuvre ou l'activité va se développer.
9. L'identification et l'évaluation des impacts environnementaux qui peuvent être causés par le projet, l'œuvre ou l'activité, en montrant comment on peut tenter de les prévenir, de les corriger, de les compenser ou mitiger.
10. La proposition du Plan d'Administration Environnemental (PAE) du projet, de l'œuvre ou de l'activité [95].

Le Décret 1220 de 2005 régit le Titre VIII de la Loi 99 de 1993 lié aux Licences Environnementales [95]. Cet instrument réglementaire intègre les concepts comme les études d'impact, les études de dangers et l'analyse de risques selon le point de vue de la protection de l'environnement. Même s'il est présenté comme un instrument global permettant une gestion multidisciplinaire du risque minier, il se limite aux altérations dans les systèmes environnementaux physiques, chimiques ou biologiques qui peuvent être imputées directement à l'exécution d'un projet, en arrêtant son cycle de vie à la fin de l'exploitation.

Le Titre III du Décret 1220 de 2005, donne le pouvoir à l'autorité environnementale de demander un Diagnostic Environnemental Alternatif, qui a pour objet la comparaison de différentes options de développement du projet, de l'œuvre ou de l'activité « avec le but d'optimiser et de rationaliser l'utilisation des ressources naturelles et d'éviter ou de minimiser les risques,

effets et impacts négatifs qu'ils peuvent provoquer » [95, 96]. Ce diagnostic ne peut malheureusement pas être demandé lors de l'élaboration des projets miniers car le code des mines se contente de la seule élaboration d'études d'impacts environnementaux pour l'évaluation liée à l'attribution de la licence globale.

L'un des principaux éléments des Etudes d'Impacts Environnementaux est le Plan d'Administration Environnemental (PAE), qui doit présenter les mesures de prévention, correction, compensation et de mitigation des impacts environnementaux négatifs qui peuvent être occasionnés par le projet, l'œuvre ou l'activité sur l'environnement ou la population pendant les phases de construction, d'opération, de maintenance, de démantèlement, d'abandon et/ou de finalisation du projet de l'œuvre ou de l'activité. Ce PAE doit inclure les points suivants :

1. Le programme d'inspection destiné à vérifier l'accomplissement des ententes et obligations environnementales pendant l'élaboration du Plan d'Administration Environnemental et à contrôler l'application des standards de qualité et les normes en vigueur. Il doit également évaluer au travers d'indicateurs l'efficacité et l'efficacé des mesures d'administration environnementale adoptées ainsi que la pertinence des mesures correctrices nécessaires et applicables à chaque cas particulier.
2. Le plan d'urgence, qui contient les mesures de prévention et de secours qui peuvent être appliqués durant la vie du projet, œuvre ou activité.
3. Les coûts prévus du plan d'administration en relation avec le coût total du projet de l'œuvre ou de l'activité ainsi que le chronogramme d'exécution du plan d'administration [95].

Il est important d'établir une différence entre la proposition faite lors de la demande de licence et la version définitive du Plan d'Administration Environnemental. **Le plan définitif ne sera pas évalué avant sa mise en application par l'autorité environnementale compétente, l'industriel pourra donc commencer l'exécution des œuvres et activités sans son approbation.**

La méthodologie de développement des études d'impacts environnementaux est déterminée par les guides techniques minier-environnementaux [93]. Ces derniers constituent un outil clair permettant de réaliser l'évaluation des impacts environnementaux, comme le demande la loi 685 de 2001 et le décret 1220 de 2005 [36, 95]. Ils proposent l'utilisation de matrices de type cause-effet, incluant des dimensions géophysiques, hydro-climatiques, biotiques, économiques, culturelles et politiques. Ils laissent néanmoins des vides importants pour les processus d'évaluation des risques des événements critiques non souhaités pouvant survenir durant les phases d'exploitation et de post-exploitation.

Pour ce qui est de la phase de post-exploitation, ces guides présentent les procédures de fermeture de la mine **mais ne demande pas à l'industriel d'étudier des scénarios probables de risques majeurs**. Le retour d'expérience international nous signale l'importance du développement de mesures dirigées à dynamiser les processus d'analyse de risque durant cette phase, de même que le développement d'un programme national pour l'administration des risques dans des projets de cession de droits ou d'installations minières orphelines.

Une étude d'impacts environnementaux focalise ses efforts sur des processus en phase normale d'opération, **mais ne gère généralement pas les événements non souhaités en marche dégradée**. Pour palier ce manque, la communauté internationale a développé des analyses complémentaires de dangers et de risques [22, 49, 50, 71]. Ces analyses demandent à l'industriel de réfléchir sur l'élimination, la prévention, le contrôle et la mitigation de scénarios comme les incendies, les explosions, la rupture de digue, etc. L'approche colombienne pour l'administration de ce type d'événements se base sur les plans d'urgence qui utilise essentiellement de la mitigation post événement critique et qui ne met que peu en avant la gestion du risque minier durant les premières phases d'une séquence d'accident. Même si les décrets abrogés 1728 de 2002 et 1180 de 2003 incorporaient des notions d'analyse de risques réalisées en parallèle des études d'impacts environnementaux, **les rédacteurs du nouveau décret 1220 de 2005 ont limité son champ d'action au seul processus d'évaluation d'impacts en lui retirant toutes notions liées à l'analyse de risques** [40, 95, 96]. Même si les décrets abrogés n'intégraient pas les analyses de risques d'une manière satisfaisante, ils étaient l'unique instrument qui parlait de complémentarité entre les deux démarches. Il aura pu être pertinent de la part du Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et du Développement Territorial de publier en même temps que le décret 1220 de 2005 un instrument réglementaire complémentaire incorporant une démarche conjointe. On a ainsi laissé orpheline la problématique de l'accidentalité industrielle et montré clairement le vide existant au niveau de la prévention des accidents industriels majeurs.

Comme les instruments réglementaires de base, les guides minier-environnementaux laissent des vides importants sur les analyses de risques. Les chapitres qui font office de guide technique pour le développement de ces analyses incluent des définitions qui ne correspondent pas à celles acceptées internationalement, **ils ne proposent pas de méthodologie qui guide le processus et on ne parle à aucun moment des critères d'acceptabilité du risque** [97-100]. Nous pouvons les considérer comme des instruments non pertinents, et il faudrait alors faire une révision urgente de ces guides. Il faudrait de plus que les autorités compétentes considèrent la non inclusion du critère de vulnérabilité dans l'évaluation des risques, car ce concept est utilisé pour la protection d'une cible spécifique et induit automatiquement des

réflexions liées aux systèmes de barrières.

Nous pouvons noter que les concessions faites au secteur minier pour l'obtention des licences environnementales ne sont pas en accord avec les risques associés à cette activité. Lorsqu'un pays opte par le développement de procédures spéciales dans le but de dynamiser significativement un secteur d'activité, il génère également des nécessités particulières pour la gestion et l'administration de ces procédures. Ayant pris en compte le retour d'expérience international, le développement de ce type de procédures inclut le renforcement des autorités et le développement d'un programme national de vigilance sectorielle ; ces éléments qui n'ont pas été pris en compte dans la législation colombienne (ex. le Federal Mine Safety and Health Act).

4.1.5. Décret 1295 de 1994 et Résolution 1016 de 1989

Le décret 1295 de 1994 peut être considéré comme la colonne vertébrale du Système Général de Gestion des Risques Professionnels colombien [101]. Il est défini par l'ensemble des entités publiques et privées, des normes et procédures, permettant de prévenir, de protéger et de soigner les maladies professionnelles, il a comme objectifs :

1. D'établir les activités de prévention qui permettent d'améliorer les conditions de travail ainsi que la santé des travailleurs, les protégeant contre les risques liés à l'organisation du travail, qui peuvent affecter la santé individuelle ou collective sur les lieux de travail en agissant sur des paramètres physiques, chimiques, biologiques, ergonomiques, psychosociaux, facteurs d'ambiance et de sécurité.
2. De fixer les droits d'accès aux services médicaux et aux indemnités reçues dans la cadre des incapacités temporaires après un accident du travail ou une maladie professionnelle.
3. De reconnaître et de payer les rentes liées aux incapacités temporaires ou permanentes ou d'invalidité, qui sont issues d'un accident de travail, d'une maladie professionnelle ou d'un décès.
4. De renforcer les activités permettant d'établir l'origine des accidents du travail et des maladies professionnelles et le contrôle des dangers liés au travail.

Dans son article 26, ce même décret établi une classification à cinq niveaux de risque classés d'après le type d'activités. **L'industrie extractive de minéraux se trouve classée au niveau V (risque maximum)** qui demande l'utilisation de programmes spéciaux de vigilance et de contrôle [48]. Le niveau de risque attribué aux opérations minières est correct, **mais le pays n'a pas développé les mécanismes suffisants pour créer un système national autonome destiné à la promotion et à la prévention des accidents.**

La Direction Générale des Risques Professionnels du Ministère de la Protection Sociale travaille actuellement au renforcement d'un système national. Il focalise ses efforts sur les processus de diagnostic, de surveillance médicale, de déclaration, d'indemnisation, de renforcement institutionnelle,

de couverture, mais il n'a pas réalisé d'avancées significatives dans le développement de plans nationaux de prévention des maladies professionnelles de type silicose. Ce type de programme doit être considéré comme prioritaire, lorsque l'on sait que 37% de la population minière latino-américaine est atteint par ce type de maladie pulmonaire [102].

Au niveau opérationnel, la résolution 1016 de 1989 régit l'organisation, le fonctionnement et établit des programmes de santé au travail à un niveau national. Ces programmes présentent des sous-programmes de médecine préventive, de médecine du travail, d'hygiène industrielle et de sécurité industrielle destinés à préserver, à maintenir et à améliorer la santé individuelle et collective des travailleurs [103]. À l'aide de termes généraux, l'instrument a dynamisé l'administration des risques associés aux problématiques de santé et d'hygiène industrielles, mais laisse quelques vides sur la sécurité industrielle. Les principales activités sont définies par l'article 11 (sous-programme d'hygiène et de sécurité industrielle) :

1. Réaliser un programme permettant d'obtenir des informations sur les lieux de travail dans les entreprises, pour localiser, évaluer et connaître l'exposition des travailleurs.
2. Identifier les agents physiques, chimiques, biologiques, psychosociaux, ergonomiques, mécaniques, électriques, et autres agents contaminants, à l'aide d'inspections périodiques des entreprises, postes de travail et équipements.
3. Évaluer les risques, avec l'aide technique de mesures qualitatives et quantitatives, afin de déterminer le danger réel.
4. Faire une étude sur les projets, œuvres, et installations industrielles pour déterminer les risques qu'ils peuvent générer.
5. Réaliser l'inspection et vérifier l'effectivité et le bon fonctionnement des équipements de sécurité et le contrôle des risques.
6. Étudier et implanter les systèmes de contrôle nécessaires pour tous les risques existants dans l'entreprise.
7. Établir les spécifications techniques des équipements et matériaux pour lesquels la manipulation, le transport et le stockage peuvent générer des risques au travail.
8. Établir et exécuter les modifications dans les procédés ou opérations : substitution de matières premières dangereuses, isolation de procédé, ou toute autre mesure, pour contrôler les risques à la source.
9. Étudier et implanter des programmes de maintenance préventive pour les machines, les équipements, outils liés aux installations d'éclairage et aux réseaux électriques.
10. Dimensionner et mettre en pratique les moyens de protection effective nécessaires dans les systèmes de transmission d'énergie, machines et outils de travail associés.
11. Réaliser des inspections périodiques sur les réseaux et les installations électriques locatives, sur les machines, équipements et

outils servant à contrôler les risques d'électrocution et les dangers d'incendie.

12. Superviser et vérifier l'application des systèmes de contrôle des risques professionnels et déterminer la nécessité de fournir des équipements de protection individuels, après étude des postes de travail.
13. Analyser les caractéristiques techniques, le dimensionnement et la qualité des équipements de protection individuels donnés aux travailleurs, en accord avec les spécifications des fabricants ou des autorités compétentes pour établir des procédures de sélection, de distribution, d'utilisation, d'entretien et de renouvellement.
14. Rechercher et analyser les causes des accidents et incidents du travail et des maladies professionnelles pour appliquer les mesures correctrices nécessaires.
15. Informer les autorités compétentes sur les accidents du travail arrivant aux travailleurs.
16. Elaborer, actualiser et analyser les statistiques des accidents du travail qui seront à la disposition des autorités compétentes.
17. Délimiter ou marquer les aires de travail, zones de stockage et voies de circulation, signaler les sorties de secours, abris et zones abritées et zones dangereuses des machines et des installations en accord avec les dispositions légales en vigueur.
18. Organiser et développer un plan de secours :
 - a. Préventif : Application des normes légales et techniques sur les combustibles, équipements électriques, sources de chaleur et substances dangereuses propres de l'activité économique de l'entreprise.
 - b. Passif ou structurel : Dimensionnement et construction d'immeubles à l'aide de matériaux résistants, voies de sortie suffisantes et adéquates pour l'évacuation, en accord avec les risques existants et le nombre de travailleurs.
19. Contrôle des moyens de secours : création et organisation de brigades (sélection, évaluation, réalisation de plans de secours et d'évacuation), système de détection, alarme, communication, sélection et distribution d'équipements de contrôle fixes et portables (manuels ou automatiques), inspections, signalisation et entretien des systèmes de contrôle.
20. Etudier et contrôler la présence, la collecte, et le traitement des déchets dans le cadre des mesures de protection environnementales.
21. Promouvoir, élaborer, développer et évaluer des programmes d'entraînement destinés à la prévention des risques au travail.
22. Utiliser les sous-programmes de médecine préventive et du travail pour conseiller et promouvoir les normes internes de santé au travail, le règlement d'hygiène et la sécurité industrielle.

23. Présenter pour approbation le programme d'hygiène et de sécurité industrielle aux instances directrices de l'entreprise avant d'exécuter le plan approuvé [103] .

Nous pouvons considérer que les activités présentées dans cet article 11, constituent une liste suffisamment complète pour permettre l'identification, l'évaluation, l'administration, et la gestion des risques industriels. Il serait tout de même pertinent de faire quelques précisions sémantiques et de présenter quelques définitions pour que sa clarté en soit améliorée. Mais même si les activités sont clairement définies, **les méthodes et méthodologies pour son développement ne sont pas aussi clairement présentées.**

Le système général lié aux risques professionnels est orienté, régulé, supervisé, surveillé et contrôlé par l'état sous la responsabilité du Ministère de la Protection Sociale, mais son administration est réalisée par les entités Administratrices des Risques Professionnels (ARP) dont la plupart appartiennent au secteur privé (essentiellement des assurances). Ces entités ont comme fonctions principales :

1. L'affiliation des travailleurs.
2. L'enregistrement des travailleurs
3. Le recouvrement et la distribution des cotisations.
4. Garantir à ses affiliés qu'ils auront les prestations de services de santé auxquels ils ont droit.
5. Garantir à ses affiliés la reconnaissance et le paiement des prestations économiques.
6. Réaliser des actions de prévention, de conseil et d'évaluation des risques professionnels.
7. Promouvoir et réaliser des programmes de médecine du travail, d'hygiène industrielle, de santé au travail et de sécurité industrielle.
8. Etablir les priorités liées aux critères de risque pour orienter les activités de conseil.
9. Vendre des services complémentaires liés à la santé au travail (formation, études, recherches) en accord avec la réglementation que donne nationale.

Les administrations des risques professionnels sont actuellement en train de développer des méthodes et des méthodologies pour l'identification des dangers, la réalisation d'analyses de risques et des programmes de management des risques. Malheureusement, le Ministère de la Protection Sociale n'a pas développé de guides pour réguler ce type d'initiatives, **laissant se développer une certaine hétérogénéité dans ces instruments**, de même que dans les processus de promotion des sous-programmes. Un exemple de ce type de problème est le développement de méthodes semi-quantitatives d'analyse de risques, où les critères d'acceptabilité sont déterminés par des logiques de type coût-bénéfice et non par des lignes directrices nationales (ex. de la hiérarchisation des risques réalisée par l'ARP SURATEP²¹). De plus, ce type

²¹ SURATEP : Administrateur des risques professionnels issu de la SURAMERICANA d'assurances
<http://www.suratep.com>

d'instrument identifie les dangers d'une installation à travers de listes et définit les principaux flux de danger source-cible, mais ne n'élabore pas la construction de scénarios longs. On simplifie donc des mécanismes de danger, en négligeant les opportunités d'intervention dans les processus de management des risques, conduisant à l'implantation prématurée de systèmes de barrières.

4.1.6. Loi 320 de 1996 et Décret 2055 de 1999

La loi 320 de 1996 et le décret 2055 de 1999 sont les instruments réglementaires colombiens permettant de faire la transposition de la convention OIT 174 et de ses recommandations 181 [49, 50]. Ces instruments induisent le dimensionnement des stratégies nationales pour la prévention, le contrôle et la mitigation d'accidents industriels majeurs qui utilisent des substances dangereuses (orientation de type SEVESO). Son principal instrument est le rapport de sécurité qui constitue un document écrit permettant de donner des informations techniques, de gestion et de fonctionnement relatives aux dangers et risques que présente une installation, et justifie les mesures prises pour la sécurité de l'installation [50].

Ce processus serait englobé dans le développement d'une politique nationale qui établirait un système pour la classification et l'identification des installations, sur la base d'une liste de substances dangereuses et qui inclurait des quantités et des seuils. Suite à cet instrument, l'industriel assumerait les responsabilités de :

1. Notifier à l'autorité compétente toute installation exposée à des risques d'accident majeurs identifiés
 - i. Les installations déjà existantes
 - ii. Les nouvelles installations avant fonctionnement
2. Notifier à l'autorité compétente la fermeture définitive d'une installation avant de la réaliser.
3. L'identification et l'étude des dangers et l'évaluation des risques, avec de possibles interactions entre substances.
4. La réalisation de mesures techniques, le dimensionnement, l'étude de systèmes de sécurité, la construction, le choix des substances chimiques, le fonctionnement, l'entretien et l'inspection systématique de l'installation.
5. La réalisation de mesures organisationnelles d'information et de formation du personnel, la distribution d'équipements de protection pour garantir la sécurité, une bonne affectation du personnel, une bonne distribution des responsabilités et le contrôle des entreprises extérieures et les travailleurs intérimaires qui interviennent sur l'installation, ainsi que la réalisation de plans de secours pour :
 - i. La préparation de plans et de procédures de secours efficaces, comprenant des procédures médicales pour son application in situ en cas d'accident majeur ou de danger d'accident majeur, la vérification et l'évaluation périodique de son efficacité et sa révision en cas de nécessité.

- ii. Informer les autorités et les organismes chargés d'établir les plans de secours pour protéger la population et l'environnement à l'extérieur de l'installation des accidents possibles.
 - iii. Contacter et consulter les autorités et les organismes du système de secours.
6. Appliquer toutes les mesures destinées à limiter les conséquences d'un accident majeur.
 7. Consulter les travailleurs et leurs représentants.
 8. Développer un système patronal pour le recensement d'informations et pour l'analyse des accidents et presque-accidents. L'expérience acquise devra être présentée aux travailleurs et à leurs représentants et devra être conforme avec la législation et la pratique nationale [53, 54].

4.2. Evaluation de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR pour l'analyse de méga-systèmes.

Même si l'ensemble méthodologique trouve ses origines dans l'analyse de systèmes industriels, il constitue une boîte à outils très puissante pour son application à d'autres types de problématiques. Nous pouvons par exemple citer les travaux réalisés par Gardes [104], Bressy [105], Hubert [106], Bultel [107] et Muñoz [108], où l'on explore **différentes échelles de complexité** qui incluent : la gouvernance et les vulnérabilités du territoire, des petites et moyennes entreprises, de la conception de produits (véhicule automobile), et la démarche de travail en équipe dans le cadre de pratiques éducatives et de recherches.

Cette conception de type boîte à outils répond aux nécessités des analystes et n'est pas le fruit d'un instrument rigide auquel il faut s'adapter. Ceci permet d'inclure de nombreux points de vue pour une même problématique, lesquels seront en relation avec les objectifs de protection, les objectifs de l'analyse et les ressources disponibles. Il s'ouvre alors un univers de possibilités pour le développement et l'évolution de l'ensemble méthodologique multi-échelles, sous une conception transdisciplinaire.

4.2.1. Activité 1A. Représentation de l'installation

La proposition originale de l'activité 1A permet l'analyse de méga-systèmes. Ses utilisateurs doivent prendre en compte le fait que grâce à sa conception systémographique il sera indispensable de posséder une bonne connaissance de la SLM, cette connaissance devra augmenter au fur et à mesure qu'augmentera la complexité de la problématique.

Les analystes doivent développer une certaine habilité pour l'identification du niveau de déroulement de complexité nécessaire à l'analyse. Celui-ci sera déterminé par sa capacité d'absorption de variétés en relation à celles générées par le système. Si la capacité de l'analyste est égale ou supérieure à celle du système, le processus sera fait sous des postulats systémiques, si c'est le contraire il aura alors des processus de simplification.

4.2.2. Activité 2A. Identification des dangers et scénarios d'accident.

L'identification de systèmes sources de danger a été faite au travers la Grille 1 "Systèmes sources de dangers dans la fabrication, le stockage, le transport ; de matière, d'énergie, d'information". Ceci a été possible parce que nos constructions de systèmes sont faites du point de vue du génie des procédés, mais nous conseillons aux futurs utilisateurs d'évaluer la pertinence de cet outil en relation à l'objet d'étude. Ils pourront se développer de nouvelles typologies de dangers qui répondront à leurs nécessités disciplinaires.

Indépendamment du type de grille utilisé, le processus d'identification des dangers continuera d'être guidé par les trois questions proposées par MOSAR : le système représente-t-il un danger ?, quel type de dangers représente-t-il ?, et dans quelle phase de vie le danger peut-il se manifester ?

Le tableau A peut être utilisé avec pertinence pour l'identification des événements non souhaités. Il définit un outil systémique et flexible, basé sur un mécanisme de danger général. Nous suggérons aux futurs utilisateurs son application jusqu'à l'identification des flux principaux de dangers et de ne pas faire des réflexions qui pourraient insérer de possibles effets secondaires (ex. intoxication). Ce processus générerait l'identification prématurée du scénario, ce qui pourrait masquer des mécanismes de dangers émergents propres au système. Il faut rappeler que les analyses de risques sont des processus auto-référenciés qui demandent à l'analyste une ouverture d'esprit qui doit lui permettre l'identification de dangers et de mécanismes différents de ceux qu'il connaît déjà.

L'identification de scénarios d'accidents plausibles à travers des procédures manuelles, n'est pas pertinent pour des méga-systèmes. L'explosion de variétés d'événements initiateurs, initiaux et flux principaux de dangers, rendent cet instrument illisible, cela ne permet pas la visualisation des scénarios. Le concept de boîte noire continue d'être valide, mais il est nécessaire de développer un outil systématisé qui aide à l'identification des scénarios. Cet outil pourra être supporté par des propositions comme NIAM (Nijssen's Information Analysis Methodology ou Natural language Information Analysis Method), créant un instrument puissant qui utilise la formalisation du langage.

4.2.3. Activité 3A/4A. Evaluer les risques et la négociation d'objectifs de prévention.

La sélection des scénarios d'accidents possibles se fait à travers des processus de négociation complexes qui ont comme objectif la réalisation « d'accords sociaux » vis-à-vis de la sélection des critères d'évaluation de scénarios pour sa qualification et son analyse future.

Notre analyse portant essentiellement sur la réglementation, nous avons privilégié le choix de critères d'évaluation qui permettent de positionner la problématique colombienne dans un contexte international. Ce processus a

été guidé à chaque instant par le retour d'expérience international, qui nous a permis d'identifier des scénarios dans différentes phases du cycle de vie minier. Nous avons également pu prendre en compte des critères qui pouvaient inclure différents types de flux MEI et qui permettaient la détermination de champs de dangers indépendants (caractéristiques spatio-temporelles).

La qualification des scénarios est réalisée une fois les critères d'évaluation sélectionnés. Ce processus est assez simple si l'on a, comme dans notre cas, déterminé des critères clairs en rapport avec l'information disponible. Même si la procédure suivie dans notre travail n'est pas directement transposable pour d'autres types d'études, il faut mentionner quelques principes méthodologiques généraux :

1. Correspondance isomorphique : on suggère la réalisation de correspondances isomorphiques pour le choix des critères d'évaluation, ce qui permettra une comparaison entre les résultats obtenus et le retour d'expérience. Quelques instruments réglementaires déterminent ce type de correspondances comme c'est le cas de l'arrêté ministériel français du 29 septembre de 2005 [22].
2. Attention aux processus auto-référenciés : les processus de qualification des scénarios sont des processus auto-référenciés communicables. L'analyste doit être conscient de ses limitations, ce qui demande une ouverture d'esprit permettant l'échange d'expériences et la construction d'un dialogue constructif avec les autres membres de l'équipe pour l'élaboration de « contrats sociaux ».
3. Correspondance homomorphique : les résultats des processus d'évaluation des scénarios doivent être communicables et vérifiables. Ces conditions sont obtenues à travers des correspondances homomorphiques faites à l'aide d'instruments supplémentaires de vérification (ex. tiers expert, retour d'expériences additionnels, etc.).

De notre point de vue, **la mise au point d'instruments réglementaires doit favoriser le développement de critères d'évaluation communs et constituer un cadre méthodologique qui inclut les principes mentionnés.** C'est à travers cette base commune que l'on peut dynamiser des processus d'analyse de risques comparables encadrés dans des niveaux nationaux « d'appétit de risque » : acceptabilité, tolérabilité et assumabilité. Même si on ne peut pas déterminer ces niveaux dans l'ensemble méthodologique, nous pourrions proposer différents outils destinés à la sélection de critères d'évaluation et au développement de compétences pour l'évaluation de scénarios ; à travers le développement de classifications et de typologies basées sur les différents points disciplinaires incluant des outils de négociation.

4.2.4. Activité 5A. Définition des barrières

Un processus de définition des barrières doit inclure :

1. La définition des stratégies de contrôle (fonction de barrière).
2. La sélection des mécanismes capables d'éliminer ou de diminuer l'évolution d'un événement non souhaité ainsi que sa propagation en chaîne (système de barrière).
3. Un processus de qualification de barrières.
4. Un processus d'implantation.
5. L'intégration des barrières dans les processus de management des risques.

La proposition originale de MOSAR n'utilise pas une typologie suffisamment développée pour la classification de ces systèmes, cela pourrait limiter son utilisation lors de l'application de normes et de standards qui demandent l'utilisation d'une procédure de classification et d'évaluation des barrières [80-83]. Vis-à-vis de l'intégration de ces nouveaux concepts et pour enrichir les outils méthodologiques, nous avons réalisé une base conceptuelle qui devrait aider de futures analyses. La proposition n'inclut malheureusement pas le développement d'un outil qui systématise la procédure ou qui inclut les processus de qualification, d'implémentation et de management des risques. Nous laissons donc ouverte l'opportunité pour la réalisation d'un nouvel outil qui enrichirait la flexibilité de l'ensemble méthodologique.

Grâce à sa conception issue de la systémique de Lemoigne, l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR devient un instrument utilisable pour l'analyse de méga-systèmes. Celui-ci utilise un mécanisme de danger transdisciplinaire facilement communicable (modèle MADS), qui dynamise les « accords sociaux » en groupes de travail multidisciplinaires, à travers une démarche « bottom-up » qui correspond à la maîtrise progressive d'éléments simples que l'on combine pour aller vers une complexité de plus en plus grande.

Nous avons présentés de nombreux instruments réglementaires qui n'ont été malheureusement pour certains que timidement appliqués sur le territoire colombien, et nous ne pouvons pas considérer que le pays possède actuellement un programme national de prévention des accidents industriels majeurs. Dix ans après la ratification de la convention, le pays n'a pas formulé ni adopté une politique nationale cohérente relative à la protection des travailleurs, de la population et de l'environnement, vis-à-vis de ce type d'accidents, mais nous devons noter que la Colombie possède actuellement des autorités nationales compétentes prêtes à assumer le développement d'une législation moderne sur la base du retour d'expériences internationales, tout en promouvant les articulations disciplinaires nécessaires pour la protection des différentes cibles.

Conclusion

« Sortir de l'émergence » : la Colombie aspire clairement à cette volonté. Le pays n'en est pas très loin, il est actuellement crédité d'un indicateur de développement humain (IDH) de 0,790 qui le situe à la 70^{ème} position, proche de la limite des pays ayant un développement humain élevé [2] (Figure 32).

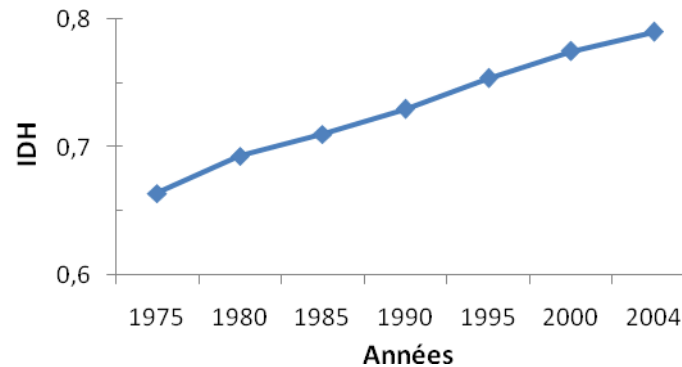


Figure 32. Evolution de l'IDH de la Colombie

Le besoin en énergie est bien entendu indispensable pour assurer la continuité de ce développement, mais nous savons maintenant qu'il est inévitable de maîtriser la consommation des ressources naturelles et qu'il n'est plus acceptable de se lancer dans une course au développement qui ne prendrait pas en compte les effets négatifs sur l'environnement et bien entendu sur les populations et les travailleurs, qui sont les premières personnes exposées. Il est donc indispensable de réaliser ce développement en lien avec des contrats sociaux et environnementaux qui permettent de prendre en compte l'ensemble de ces paramètres. Nous pouvons citer Mahbub ul Haq, l'un des créateurs de l'IDH, qui écrivait dans le premier rapport mondial sur le développement humain paru en 1990 que « [...] l'objectif fondamental du développement est de créer un environnement qui permette aux gens de vivre longtemps, en bonne santé et de mener une vie enrichissante ».

La méthodologie utilisée nous a permis de réaliser cette étude sur un système complexe à l'échelle d'un secteur économique d'un pays, cela n'avait jamais été réalisé à une telle échelle de complexité. Nous pouvons maintenant signaler que l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR est un instrument utilisable pour l'analyse de méga-systèmes grâce à sa conception liée à la systémique de Lemoigne. Celle-ci utilise un mécanisme de danger transdisciplinaire facilement communicable (modèle MADS), qui dynamise les « accords sociaux » dans des groupes de travail multidisciplinaires, au travers d'une démarche « bottom-up ».

La principale modification apportée vis-à-vis de la méthodologie originale est le développement et l'intégration d'une typologie pour la classification des systèmes de barrières. Nous pensons qu'il est maintenant nécessaire voire indispensable d'utiliser une telle classification prenant en compte les nouveaux besoins issus des normes et standards internationaux.

Cette étude a mis en évidence que la Colombie n'a pas encore formulé une politique nationale cohérente pour la prévention des accidents industriels majeurs, dix ans après la ratification de la convention OIT 174 et de ses recommandations 181. La ratification de ces

instruments est faite au travers la loi 320 de 1996 et du décret 2053 de 1999 : ils demandent aux autorités nationales compétentes la mise au point d'une stratégie nationale pour la prévention, le contrôle et la mitigation des accidents industriels majeurs qui mettent en cause des substances dangereuses et suggèrent l'adoption du Rapport de Sécurité. Même si la Colombie désigne le Ministère de la Protection Sociale comme responsable de la mise en œuvre de cette initiative, nous considérons que le Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et du Développement Territorial devrait être le leader du développement de ce cadre législatif et de sa relation avec les licences environnementales. Les études de dangers pour l'identification et l'analyse des accidents industriels majeurs doivent être considérées comme des procédures complémentaires aux études d'impact environnementales, aux études alternatives et aux programmes de santé au travail. Ce nouvel outil de décision pourrait être inclut dans le décret 1220 de 2005, où l'on parlerait alors du développement des études de dangers et/ou d'impact, comme une obligation dans le cadre de la demande d'obtention d'une licence environnementale.

Les initiatives de coordination interinstitutionnelle comme celles utilisées dans la loi 685 de 2001 (Code des Mines) dynamisent le développement législatif minier-environnemental et établissent des procédures claires auprès des autorités compétentes pour la demande de contrats miniers. Le développement de politiques sectorielles doit promouvoir la coordination et le renforcement de toutes les autorités impliquées, ce qui permettra le développement d'un système national global. Ce type d'initiatives devra alors inclure le Ministère de la Protection Sociale et le Ministère de l'Intérieur et de la Justice comme autorités nationales chargées de la protection des mineurs, de la population, des infrastructures sensibles et de l'administration du territoire, donnant lieu aux instruments suivants :

- a. Un guide pour le développement de programmes de santé au travail dans le secteur minier.
- b. Des bases pour la consolidation d'un programme national pour la prévention des maladies liées aux activités minières.
- c. Un observatoire national de la santé au travail, de la sécurité industrielle et de la protection environnementale liées au secteur minier.
- d. Des instruments pour le renforcement de l'action locale liée à l'administration du risque minier.
- e. Un renforcement de la stratégie nationale pour la gestion du risque minier et la mise en œuvre de tactiques régionales d'administration.

Des instruments législatifs qui englobent la totalité du cycle de vie d'un projet minier doivent être développés. Même si l'on parle dans la réglementation actuelle d'éléments liés à la fin d'activités, il n'existe actuellement aucun instrument qui puisse guider une administration ou un industriel pour réaliser une étude de ce type. La phase de post-exploitation n'est prise en compte que de manière superficielle dans le Programme de Travail et Œuvres qui ne permet pas le développement d'un processus de réflexion utilisant des scénarios comme ceux que nous avons présentés dans le Tableau 13 (chapitre 2). Le développement de plans de prévention des risques miniers et de ses guides techniques est très urgent. Ces nouveaux instruments donneraient les informations nécessaires aux autorités environnementales pour l'administration des risques post-exploitation et pour les risques environnementaux liés à cette phase de vie.

Il est également nécessaire de continuer de promouvoir des processus de participation communautaire utilisant des espaces de communication du risque et la concertation, mais il faut dans ce cas inclure la participation d'experts indépendants. Ces mécanismes de participation communautaire ne doivent pas uniquement réunir les acteurs du « conflit », mais doivent recourir aux experts externes pour réguler les relations de pouvoir dans les processus de négociation. Il faudrait également que l'autorité compétente formalise ce processus de participation communautaire. Dans ce type de processus de transfert de risques aux communautés vulnérables, il faut prendre en compte la thèse d'Ulrich Beck qui signale que « les situations de risque ne sont pas des situations de classe » [109].

Il faut promouvoir le développement d'instruments réglementaires permettant d'obtenir l'autonomie des processus de gestion globale des risques. L'une des stratégies pour y arriver est l'intégration de méthodes et de méthodologies dans les instruments réglementaires. Ce type d'instruments génère des processus systémographiques où l'autorité compétente dessine le cadre logique d'analyse et détermine l'acceptabilité du risque, et l'industriel minier assume alors la responsabilité totale pour une utilisation sûre de son installation. Pour assumer ce défi il serait pertinent de concevoir des instruments à travers de l'approximation phénoménologique du mécanisme de dangers et de la promotion de modèles transdisciplinaires.

Les principaux instruments réglementaires existants pour le contrôle du risque minier privilégient la construction de scénarios de proximité, où les opportunités d'intervention se réduisent et où les événements initiateurs particuliers à chaque exploitation deviennent invisibles. Cette stratégie favorise l'implantation de systèmes de barrières basés sur l'identification des sources de dangers, des dangers intrinsèques et des événements critiques, créant automatiquement des processus d'implémentation de systèmes, sans générer à aucun moment une réflexion sur les scénarios longs. Un instrument réglementaire qui utilise cette stratégie est facilement vérifiable, mais ne génère pas les niveaux d'autonomie suffisants pour une gestion globale du risque minier. De plus, les processus de qualification des systèmes de barrières n'incluent pas les notions comme la disponibilité, la confiance, la capacité, la robustesse, etc. Avec ce panorama réglementaire, les autorités nationales compétentes doivent considérer l'inclusion d'analyses de risques de type « bottom-up », qui favorisent l'identification de mécanismes particuliers de dangers propres à chaque exploitation et à la construction de scénarios longs d'événements critiques.

Référence

1. Streeten, P., *Le développement humain : le débat autour de l'indicateur*, in *Revue Internationale des Sciences Sociales*. 1995, UNESCO: Paris. p. 35-49.
2. United Nations Development Program, *Human Development Report, International cooperation at a crossroads: Aid, trade and security in an unequal world*, Oxford University Press, Editor. 2006, UNDP: New-York. p. 440
3. International Energy Agency, *Statistics and energy balances of OECD and non-OECD Countries*, in *World Energy Statistics*. 2006, OECD: Paris. p. 295.
4. International Energy Agency, *Fact Sheet on IEA Oil Stocks and Response Potential*. 2007, OECD: Paris. p. 20.
5. International Energy Agency, *Natural gas market review, security in a globalizing market*. 2007, OECD: Paris. p. 300.
6. Union Européenne, *Dossier documentaire « Aide aux pays en développement, financement extérieur du développement » QI/E/0321*, C. Service d'aide au développement des pays ACP (Afrique, Pacifique), Editor. 2001.
7. United Nations, *Human Rights of Internally Displaced People, Humanitarian Report*, OCHA Bureau de coordination des affaires humanitaires, Editor. 2004, ONU: New York.
8. Le Moigne, J.-L., *La théorie du système général : théorie de la modélisation*. 4e édition mise à jour ed. Systèmes-décisions. Section Systèmes de gestion. 1994, Paris: Presses universitaires de France. xii, 330 p.
9. Lesbats, M., et al. *La science du danger*. 1999 [cited; Available from: <http://hse.iut.u-bordeaux1.fr/lesbats/cdsdl/Amenu.htm>].
10. Eriksson, D., *A principal exposition of Jean-Louis Le Moigne's systemic theory*. Cybernetics & Human Knowing, 1997. 4(2): p. 35-77.
11. IIPC. *Que es el pensamiento complejo y la complejidad?* 1997 [cited; Available from: <http://www.complejidad.org/>].
12. Roy, B., *Vers une méthodologie générale d'aide à la décision*, M. international, Editor. 1975.
13. Le Moigne, J.-L., *Intelligence des mécanismes, mécanismes de l'intelligence : intelligence artificielle et sciences de la cognition*. Nouvelle encyclopédie des sciences et des techniques. 1986, Paris: Fondation Diderot : Fayard. 367 p.
14. Le Moigne, J.-L., *Les épistémologies constructivistes*. Que sais-je? ; 2969. 1995, Paris: Presses universitaires de France. 127 p.
15. Le Moigne, J.-L., *La modélisation des systèmes complexes*. 1999, Paris: Dunod. x,178 p.
16. Le Moigne, J.-L., *Le constructivisme*. Ingénium. 2001, Paris: L'Harmattan. v.
17. Le Moigne, J.L., *Les systèmes de décision dans les organisations*. [1. éd.] ed. 1974, Paris,: Presses universitaires de France. viii, 244 p.
18. Haddon, J.W., *Energy damage and the ten counter-measure strategies* Human Factors Journal, 1973. 15(1): p. 355-366.
19. Périllon, P. *Réflexions sur les modèles de la science du danger*. in *Ecole d'été "gestion scientifique du risque"*. 1999. Albi, France.
20. Périllon, P., *Sciences et techniques du danger méthode organisée systémique d'analyse des risques (MOSAR)*, S.d.p. chimiques, Editor. 1992, Ecole Nationale Supérieure des Industries Chimiques de Nancy: Nancy. p. 304.
21. Périllon, P., *MOSAR présentation de la méthode*. Techniques de l'Ingénieur, 2003. **Traité sécurité et gestion des risques**(SE4 060).
22. Le Ministre de l'Ecologie et du Développement Durable, *Relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation*. 2005, JO n° 234 du 7 octobre 2005.
23. OIT, I.L.O., *La OIT estima que se producen más de un millón de muertos en el trabajo cada año: los riesgos en el lugar de trabajo aumentan con el desarrollo de las tecnologías*, in *OIT news*. 1999: Ginebra.
24. Ministerio de Minas y Energía, *Plan Nacional de Desarrollo Minero, 2002 - 2006*. 2002, Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. p. 57.
25. Chouhan, T.R., *The unfolding of Bhopal disaster*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2005. 18(4-6): p. 205-208.
26. The Fraser Institute, *2002/2003 Mining Survey*. 2003, The Fraser Institute: Vancouver.

27. Engineering & Mining Journal, *Project Survey 2002*. 2002.
28. Hruschka, F. *Costos y beneficios de la pequeña minería en los países en vías de desarrollo*. 1998 [cited 2004; Available from: <http://www.hruschka.com/felix/article/costbene.html>].
29. OIT, I.L.O. *SafeWork*. 2007 [cited; Available from: <http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/index.htm>].
30. UPME, U.d.P.M.E., *Escenarios y estrategias: minería y energía*. 2006, UPME. p. 52.
31. Ministerio de Minas y Energía, *Boletín Estadístico de Minas y Energía 1999-2005*. 2006, unidad de Planeación Minero Energética -UPME-. p. 132.
32. InfoMine, *Mineros trabajan para erradicar el trabajo infantil de minería informal*, in *Business News Américas*. 2007: Santiago de Chile.
33. UPME, U.d.P.M.E., *Distritos mineros: exportaciones e infraestructura de transporte*. 2005, UPME. p. 120.
34. República de Colombia, *Código de Minas*. 2001.
35. Ministerio de Minas y Energía, -.M.d.A., Vivienda y Desarrollo Territorial, *Guía minera ambiental, explotación*, C.T.I.C.-C.-C.L.R. LIMITED, Editor. 2002, Camilo E. Peña Vargas, Diseño, Armada Electrónica y Producción. p. 154.
36. Congreso de la República de Colombia, *Código de Minas*. 2001.
37. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, *Reglamento de seguridad minera para explotación subterránea de carbón*. 1979.
38. Presidencia de la República de Colombia, *Reglamento de seguridad en las labores subterráneas*. 1987.
39. Presidencia de la República de Colombia, *Reglamento de Higiene y Seguridad en las Labores Mineras a Cielo Abierto*. 1993.
40. Ministerio del Medio Ambiente, *Reglamentación del Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre la Licencia Ambiental*. 2002.
41. Congreso de la República de Colombia, *Ley de ordenamiento territorial* 1997. p. 93.
42. Ministerio de Ambiente, V.y.D.T., *Elementos de población para el ordenamiento territorial*, Dirección Desarrollo Territorial, Editor. 2004. p. 54.
43. Ministerio de Ambiente, V.y.D.T., *Elementos de población para el ordenamiento territorial*, Dirección Desarrollo Territorial, Editor. 2004. p. 50.
44. Ministerio de Minas y Energía, -.M.d.A., Vivienda y Desarrollo Territorial, *Guía minera ambiental, exploración*, C.T.I.C.-C.-C.L.R. LIMITED, Editor. 2002, Camilo E. Peña Vargas, Diseño, Armada Electrónica y Producción. p. 112.
45. Ministerio de Minas y Energía, -.M.d.A., Vivienda y Desarrollo Territorial, *Guía minera ambiental, beneficio y transformación*, C.T.I.C.-C.-C.L.R. LIMITED, Editor. 2002, Camilo E. Peña Vargas, Diseño, Armada Electrónica y Producción. p. 109.
46. Ministerio de Minas y Energía - Ministerio de Ambiente, V.y.D.T., *Guía minero ambiental de la industria del cemento*, V.y.D.T.-I.-. Ministerio de Minas y Energía - Ministerio de Ambiente, Editor. 2005. p. 387.
47. Ministerio de Minas y Energía - Ministerio de Ambiente, V.y.D.T., *Guía minero ambiental de minería subterránea y patios de acopio de carbón*. 2004. p. 184.
48. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, *Por la cual se reglamentan las actividades de alto riesgo*. 1994.
49. OIT, O.I.d.T., *R181 Recomendación sobre la prevención de accidentes industriales mayores*. 1993.
50. OIT, O.I.d.T., *C174 Convenio sobre la prevención de accidentes industriales mayores*. 1993. p. 12.
51. Presidencia de la República de Colombia, *Por el cual se modifica la Tabla de Clasificación de Actividades Económicas para el Sistema General de Riesgos Profesionales y se dictan otras disposiciones*. 2002.
52. OIT, O.I.d.T., *C176 Convenio sobre seguridad y salud en las minas*. 1995, OIT.
53. Presidencia de la República de Colombia, *Por el cual se promulga el "Convenio numero 174 sobre la prevención de accidentes industriales mayores", adoptado en la 80a reunión de la conferencia general de la Organización Internacional del Trabajo en Ginebra el 22 de Junio de 1993*. 1999.
54. Congreso de la República de Colombia, *Por medio de la cual se someten: el "Convenio 174 sobre la prevención de accidentes industriales mayores" y la "recomendación 181 sobre la prevención de accidentes industriales mayores", adoptados en la 80ª Reunión de la Conferencia General de la Organización Internacional del Trabajo en Ginebra el 22 de junio de 1993*. 1996.
55. Redacción nacional, *Más de la mitad de las minas del país tendrán que ser cerradas por inseguras*. El Tiempo . com, 2007.

56. Redacción nacional, *La realidad de la explotación minera en Colombia*. El Tiempo . com, 2007.
57. Redacción nacional, *No hay seguridad en el 70 por ciento de las minas de Colombia*. El Tiempo . com, 2007.
58. Ministerio de Protección Social, *Pro la cual se establecen las variables y mecanismos para recolección de información del subsistema de información en salud ocupacional y riesgos profesionales*. 2005.
59. Mine Safety and Health Administration, *MSHA data base*. 2006, National Institute for Occupational Safety and Health.
60. National Institute for Occupational Safety and Health. *Mining*. 2006 [cited; Available from: <http://www.cdc.gov/niosh/mining/>].
61. Ministère de l'Économie des Finances et de l'Industrie et Ministère de l'Équipement des Transports du Logement du Tourisme et de la Mer. *GEODERIS*. 2007 [cited; Available from: http://www.lorraine.drire.gouv.fr/mines/2_2_accueilCartes.asp].
62. Peru, M.d.E.y.M.d. 2007 20/02/2007 [cited; Available from: http://www.minem.gob.pe/mineria/pub_public10.asp].
63. Europa press, *El gobierno anuncia un plan de fiscalización para controlar las condiciones laborales en las minas*. EP, 2007.
64. OIT, I.L.O., *Aumentan los riesgos para la salud y la seguridad de mineros, mujeres y niños*. 1999.
65. Corresponsal en Cúcuta, *Rescatados los primeros 18 cadáveres en una mina en Sardinata, Norte de Santander*. El Tiempo . com, 2007.
66. Ministère de l'Agriculture de l'Alimentation et des Affaires rurales, *Les particules de poussière et l'appareil respiratoire humain* Conséquences de la qualité de l'air sur la santé des personnes qui travaillent dans des bâtiments d'élevage, Editor. 1993, Imprimeur de la Reine pour l'Ontario: Toronto.
67. Amoundru, C., *Pneumoconioses: l'exemple des houillères du Nord-pas-de-Calais (1944-1990)*. 2006: Paris. p. 24.
68. Hyg, S., *Interregional programme on the elimination of silicosis*. 1997, International Labour Organization. p. 4.
69. MiningWatch Canada. *MiningWatch Canada* 2007 06/03/2007 [cited 2007]; Available from: <http://www.miningwatch.ca/>.
70. Préfecture de la Région Lorraine et Préfecture de la Moselle, *L'après mines dans le bassin ferrifère Lorrain*. 2005. p. 46.
71. Parlement Européen et du Conseil, *Modifiant la directive 96/82/CE du Conseil concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses* 2003, Journal officiel de l'Union européenne. p. 9.
72. Vaux, G. *The Peak in U.S. Coal Production*. 2004 [cited 2006; Available from: http://www.fromthewilderness.com/free/ww3/052504_coal_peak.html].
73. Beck, U., *Risk Society: Towards a New Modernity*. 2006, Barcelona: Paidós. 393.
74. United Nations Statistics Division, *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities, Third Revision, (ISIC, Rev.3)* 1989, UNSD.
75. Garwood, C., *Green Crusaders or Captives of Industry? The British Alkali Inspectorate and the Ethics of Environmental Decision Making 1864-95*. *Annals of Science*, 2004. **61**(1): p. 18.
76. Union Européenne, *Directive 94/9/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 mars 1994 concernant le rapprochement des législations des Etats membres pour les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles*. 19 avr 1994, Journal Officiel des Communautés Européennes.
77. CCPS, *Guidelines for safe automation of chemical processes*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers ed. 1993, New York.
78. CCPS, *Layer of protection analysis simplified process risk assessment* Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers ed. 2001, New York.
79. IAEA, *Basic safety principles for nuclear power plants*. International Atomic Energy Agency ed. 1999, Vienna.
80. IEC, *IEC:61508. Part 1-7 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*. 1998, Geneva: International Electrotechnical Commission.
81. IEC, *IEC: 61511. Function safety-safety instrumented systems for the process industry sector*. 2002, Geneva: International Electrotechnical Commission.
82. ISO, *Petroleum and natural gas industries. Offshore production installations. Guidance on tools and techniques for hazard identification and risk assessment*. 2002, Geneva: International Organization for Standardization.

83. ISO, *Petroleum and natural gas industries -- Control and mitigation of fires and explosions on offshore production installations -- Requirements and guidelines*. 1999, Geneva: International Organization for Standardization.
84. Kirchsteiger, C., *Towards harmonising risk-informed decision making: the ARAMIS and compass projects*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2002. **15**(3): p. 199-203.
85. Schupp, B., et al., *Design support for the systematic integration of risk reduction into early chemical process design*. *Safety Science*, 2006. **44**(1): p. 37-54.
86. Sklet, S., *Safety barriers: Definition, classification, and performance*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2006. **19**(5): p. 494-506.
87. Kletz, T.A., *Inherently safer design-its scope and future*. *Trans IChemE*, 2003. **81**(B).
88. Nijs Jan Duijm, et al. *ARAMIS project : Assessing the effect of safety management efficiency on industrial risk*. in *PSAM 7—ESREL '04*. 2004. Berlin, Germany.
89. Goossens, L. and Hourtolou, *What is a barrier?*, Working document, Editor. 2003, ARAMIS.
90. Johnson, W.G., *Mort Safety Assurance Systems (Occupational safety and health)*. 4 ed. 1980: Marcel Dekker Inc 525.
91. Delvosalle, C., C. Fiévez, and A. Pipart, *Deliverable D.1.C., in WP 1, Accidental risk assessment methodology for industries in the context of the Seveso II directive*, Editor. 2004, Faculté Polytechnique de Mons, Major Risk Research Centre: Mons
92. Commission of the European Communities, *Communication from the Commission: Promoting sustainable development in the EU non-energy extractive industry*. 2000: Brussels
93. Ministerio de Minas y Energía, -.M.d.A., Vivienda y Desarrollo Territorial, *Por medio de la cual se adoptan las guías minero ambientales y se establecen otras disposiciones*. 2002, Ministerio de Minas y Energía.
94. Presidencia de la República de Colombia, *Reglamento de seguridad en las labores subterráneas*. 1987.
95. Ministerio de Ambiente, V.y.D.T., *Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales*. 2005. p. 12.
96. Presidencia de la República de Colombia, *Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre Licencias Ambientales*. 2003. p. 18.
97. ISO/IEC, *Risk management - Vocabulary - Guidelines for use in standars*. 2002, ISO.
98. ISO, *Safety aspects - Guidelines for their inclusion in standards*. 1999.
99. ISO/TMB WG, *The third working draft of risk managment terminology*. 2000, ISO.
100. AFNOR, *Management du risques*. 2006, AFNOR.
101. Ministerio de Gobierno, *Por el cual se determina la organización y administración del Sistema General de Riesgos Profesionales*. 1994, Diario Oficial No. 41.405.
102. OIT, I.L.O., *Facts on safety at work*. 2005: p. 2.
103. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, *Por la cual se reglamenta la organización, funcionamiento y forma de los Programas de Salud Ocupacional que deben desarrollar los patronos o empleadores en el país*. 1989.
104. Gardes, L., *Méthodologie d'analyse des dysfonctionnements des systèmes pour une meilleure maîtrise des risques industriels dans les PME : application au secteur du traitement de surface*, in *Centre Sciences, Information et Technologies pour l'Environnement*. 2001, École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne Saint-Étienne
105. Chaudet-Bressy, F., *Apport du retour d'expérience à la maîtrise des risques relatifs à l'hygiène, la sécurité et l'environnement, dans les petits établissements industriels. Application à l'industrie du traitement thermique*, in *Centre Sciences, Information et Technologies pour l'Environnement*. 2002, École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne Saint-Étienne
106. Hubert, E., *Gouvernance et vulnérabilités du territoire péri-industriel : Méthodologie d'aide à la réflexion pour une maîtrise de l'urbanisation efficace et durable vis-à-vis du risque industriel majeur*, in *Centre Sciences, Information et Technologies pour l'Environnement*. 2005, École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne Saint Etienne.
107. Bulter, Y., et al., *Risk analysis on a fuel cell in electric vehicle using the MADS/MOSAR methodology*. *Process Safety and Environmental Protection*, 2007. **85** (**B3**): p. 241-251.
108. Muñoz, F., et al., *comment assurer la sécurité d'un laboratoire utilisant des nanoparticules?*, in *SFGP 2007*. 2007: Toulouse.
109. Beck, U., *Risk Society: Towards a New Modernity*. 2006, Barcelona: Paidós. 56.

Annexes

A. Annexes

Sommaire

A.1	Liste des sources de dangers du sous-système exploitation souterraine	A-2
A.1.1	Liste des sources de danger du sous-système exploitation souterraine - abatage	A-3
A.1.2	Liste des sources de danger du sous-système exploitation souterraine - marinage ...	A-5
A.1.3	Liste des sources de danger du sous-système exploitation souterraine - roulage	A-7
A.1.4	Liste des sources de danger du sous-système exploitation souterraine - opérations annexes (Aérage - exhaure et éclairage, soutenance de la galerie, détection et alarme)	A-9
A.1.5	Liste des sources de danger du sous-système exploitation souterraine - l'Homme..	A-11
A.1.6	Liste des sources de danger du sous-système exploitation souterraine - l'environnement	A-13
A.2	Etablissement de processus de danger du sous-système exploitation souterraine	A-14
A.2.1	Tableau A: abatage	A-15
A.2.2	Tableau A: marinage.....	A-22
A.2.3	Tableau A: roulage.....	A-29
A.2.4	Tableau A: les opérations annexes.....	A-36
A.2.5	Tableau A: l'homme	A-45
A.2.6	Tableau A: l'environnement.....	A-50
A.3	Etablissement des barrières de neutralisation.....	A-55
A.3.1	Tableau B: silicozes, explosion et effondrement.....	A-56
A.4	Qualification des barrières	A-71
A.4.1	Tableau C : explosion.....	A-72
A.4.2	Tableau C : effondrement	A-82
A.4.3	Tableau C : silicose.....	A-90
A.5	Arbres logiques.....	A-94
A.5.1	Arbre logique d'une explosion dans les extractions souterraines et présentation des fonctions des barrières réglementaires colombiennes	A-95
A.5.2	Arbre logique d'un effondrement dans les extractions souterraines et présentation des fonctions des barrières réglementaires colombiennes.....	A-103
A.5.3	Arbre logique de silicozes dans les extractions souterraines et présentation des fonctions des barrières réglementaires colombiennes	A-113

A.1 Liste des sources de dangers du sous-système exploitation souterraine

Grille 1

- **Abatage**
- **Marinage**
- **Roulage**
- **Opérations annexes**
- **L'Homme**
- **L'Environnement**

A.1.1 Liste des sources de danger du sous-système exploitation souterraine - abatage

SOURCES DE DANGER (Grille 1)
Mécaniques
Par outils individuels (pique - pioche et le marteau piqueur)
Le havage (les haveuses "shortwall" - "longwall", le halage)
L'évacuateur de havrit (intégré - non intégré)
Les mouvements (sur rails, chenilles ou pneus)
La perforation (les perforatrices à main, les perforatrices sur support)
Tir sans explosif (hydrauliques, gaz carbonique, procédés chimique et l'air comprimé)
Chimiques
Les explosifs
Les essences
Les fluides hydrauliques
Le grisou (~CH ₄)
La poussière
Autres substances
Toxicité des fumées et les gaz (explosives, gaz de combustion, etc.)
Caractéristiques spécifiques du matériau (ex: amiante, uranium, etc.)
Electriques
Electricité pour les machines d'abatage (ex : la station électrique, les ensembles électriques de la machine, etc.)
Electricité pour les utilités (ex : compresseurs, etc.)
Les réseaux électriques d'abatage
Charge non souhaitée des lignes de tir
Génération d'énergie statique par manipulation de matériau ou d'activités d'exploitation
D'incendie et d'explosion
Les éléments de tir
Les lubrifiants ou substances avec caractéristiques combustibles
Caractéristiques spécifiques du matériau
Rayonnements
Caractéristiques spécifiques du matériau (ex : l'uranium)

L'homme
Les opérateurs
Les personnels d'encadrement (ex : l'ingénieur)
Environnement
Conformation géologique dangereuse
Perturbation de la stabilité géologique pour l'abatage (ex : chute de matériau)
Sources d'inondation
Les séismes
La géothermique
Les supports de la galerie
Les supports d'opération (la ventilation, le pompage, etc.)
Le marinage, roulage, transport
Economiques et sociaux
Criminalité
Migration
Conflits
Grands rassemblements
Grèves

A.1.2 Liste des sources de danger du sous-système exploitation souterraine - marinage

SOURCES DE DANGER (Grille 1)
Mécaniques
Par outils individuels (pique - pioche)
Les abatteuses - chargeuses
Les mouvements (sur rails, poulies, treuils, câbles, chenilles ou pneus)
Chimiques
Les essences
Les explosifs
Toxicité des fumées et les gaz (explosives, gaz de combustion, etc.)
Les fluides hydrauliques
Le grisou ($\sim\text{CH}_4$)
La poussière
Autres substances
Caractéristiques spécifiques du matériau (ex: amiante, uranium, etc.)
Electriques
Electricité pour les machines de marinage (ex : la station électrique, les ensembles électriques de la machine, etc.)
Electricité pour les utilités (ex : compresseurs, etc.)
Les réseaux électriques de marinage
Génération d'énergie statique par manipulation de matériau ou activités d'exploitation
D'incendie et d'explosion
Les éléments de tir après l'abatage
Les lubrifiants ou substances avec caractéristiques combustibles
Caractéristiques spécifiques du matériau
Rayonnements
Caractéristiques spécifiques du matériau (ex : l'uranium)
L'homme
Les opérateurs
Les personnels d'encadrement (ex : l'ingénieur)
Environnement

Conformation géologique dangereuse
Perturbation de la stabilité géologique pour le marinage (ex : chute de matériau)
Sources d'inondation
Les séismes
La géothermique
Les supports de la galerie
Les supports d'opération (les outils, la ventilation, le pompage, etc.)
L'abatage, roulage, outils
Economiques et sociaux
Conflits
Criminalité
Grands rassemblements
Migration
Grèves

A.1.3 Liste des sources de danger du sous-système exploitation souterraine - roulage

SOURCES DE DANGER (Grille 1)
Mécaniques
Par outils individuels
Les machines transporteurs
Les rails, poulies, treuils, câbles, chenilles ou pneus
Chimiques
Les explosifs
Les essences
Les fluides hydrauliques
Le grisou (~CH ₄)
La poussière
Autres substances
Les fumées et les gaz (explosives, gaz de combustion, etc.)
Caractéristiques spécifiques du matériau (ex: amiante, uranium, etc.)
Electriques
Electricité pour les machines de roulage (ex : la station électrique, les ensembles électriques de la machine, etc.)
Electricité pour les utilités (ex : compresseurs, etc.)
Les réseaux électriques de roulage
Génération d'énergie statique par manipulation de matériau ou activités d'exploitation
D'incendie et d'explosion
Les éléments de tir après l'abatage
Les lubrifiants ou substances avec caractéristiques combustibles
Caractéristiques spécifiques du matériau
Rayonnements
Caractéristiques spécifiques du matériau (ex : l'uranium)
L'homme
Les opérateurs
Les personnels d'encadrement (ex : l'ingénieur)
Environnement

Conformation géologique dangereuse
Perturbation de la stabilité géologique pour le marinage (ex : chute de matériau)
Sources d'inondation
Les séismes
La géothermique
Les supports de la galerie
Les supports d'opération (les outils, la ventilation, le pompage, etc.)
L'abatage, marinage, outils
Economiques et sociaux
Conflits
Criminalité
Grands rassemblements
Migration
Grèves

A.1.4 Liste des sources de danger du sous-système exploitation souterraine - opérations annexes (Aéragé - exhaure et éclairage, soutenance de la galerie, détection et alarme)

SOURCES DE DANGER (Grille 1)
Mécaniques
Ventilateur d'aéragé principal
Ventilateur d'aéragé secondaire
Pompes
Les canalisations
Les buses
Action mécaniques en mécanismes de détection et d'alarme
Suspension et soutènement des buses et supports
Supports temporaire de la galerie
Supports définitifs de la galerie
Les puits et les ports
Chimiques
Les fluides hydrauliques
Le grisou (~CH ₄)
La poussière
Toxicité des fumées et les gaz (explosives, gaz de combustion, etc.)
Caractéristiques spécifiques du matériau (ex: amiante, uranium, etc.)
Les essences
Les batteries
Electriques
Electricité pour les machines (ex : la station électrique, les ensembles électriques de la machine, etc.)
Electricité pour les portes, les machines de détection et alarme
Les réseaux électriques des machines
Génération d'énergie statique par flux d'air ou outre matériau
Le réseau électrique général
Les accumulateurs de batteries

La lampisterie
Mauvaise continuité électriques
Mauvaise détection et alarme
D'incendie et d'explosion
Les réseaux électriques ou de ventilation
Les lubrifiants ou substances avec caractéristiques combustibles
Caractéristiques spécifiques du matériau (grisou, charbon)
Rayonnements
Caractéristiques spécifiques des matériaux
Biologiques
L'homme
Les opérateurs
Les personnels d'encadrement (ex : l'ingénieur)
Environnement
Conformation géologique dangereuse
Soutenance de la galerie
Sources d'inondation
Les séismes
La géothermique
Le trafic et l'activité des opérations minières
Economiques et sociaux
Criminalité
Grands rassemblements

A.1.5 Liste des sources de danger du sous-système exploitation souterraine - l'Homme

SOURCES DE DANGER (Grille 1)	
Mécaniques	
	Structure musculo-squelettique
Chimiques	
	Gaz produits par la respiration
	Autres substances toxiques
Electriques	
D'incendie et d'explosion	
	Energie statique
Rayonnements	
Biologiques	
	Les bactéries et virus
L'homme	
	Stress
	Fatigue
	Distraction
	Panique
	Méconnaissance
	Absence de consignes et protocoles
	Non respect des consignes et protocoles
	Conflits
	Malveillance
	Criminalité
	Consommation d'alcool et de drogue
	Mauvaise interprétation
	Mauvaise hypothèses de dimensionnement
Environnement	

Activité minière
Grands rassemblements
Economiques et sociaux

A.1.6 Liste des sources de danger du sous-système exploitation souterraine - l'environnement

SOURCES DE DANGER (Grille 1)
Mécaniques
Chimiques
Le grisou (~CH ₄)
Caractéristiques spécifiques du matériau (ex : amiante, uranium, etc.)
Electriques
Foudre
D'incendie et d'explosion
Caractéristiques spécifiques du matériau
Rayonnements
Caractéristiques spécifiques du matériau (ex : l'uranium)
L'homme
Les opérateurs
Les personnels d'encadrement (ex : l'ingénieur)
Environnement
Faune et flore
Les courses naturelles des eaux
Evénements naturels
Structure fermée de la galerie
Les supports de la galerie
Les supports d'opération (la ventilation, le pompage, etc.)
Les activités d'exploitation (marinage, roulage, transport)
Economiques et sociaux
Migration
Criminalité
Conflits
Grands rassemblements
Grèves

A.2 Etablissement de processus de danger du sous-système exploitation souterraine

Tableau A

- **Abatage**
- **Marinage**
- **Roulage**
- **Opérations annexes**
- **L'Homme**
- **L'Environnement**

A.2.1 Tableau A: abatage

N°		Phase de vie			Evénement initiateur		Evénement initial	Evénement principal (flux de danger)
		Exploitation	Maintenance	Après exploitation	Interne	Externe		
TABLEAU A Etablissement de processus de danger		<p>Evénement initial : événement qui caractérise le changement d'un système qui passe d'un état ou situation normale vers un état ou situation défaillante.</p> <p>Evénement initiateur : événement perturbateur qui est à l'origine du changement d'état ou de situation d'un système.</p> <p>Evénement principal : événement qui manifeste le flux de matière, d'énergie et d'information émis par un système en état ou situation défaillante.</p>						
SOUS-SYSTEME SOURCE SS1 : Exploitation souterraine - Abatage								
SOURCES DE DANGERS (Grille 1)								
A	Mécaniques							
1	Par outils individuels (pique - pioche et marteau piqueur)	X			<ul style="list-style-type: none"> • Problème sur les utilités (air, etc.) • Problème de manutention des outils 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise opération des outils • Dysfonctionnement des outils • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Projection des outils • Projection de matériau (poussière et roches) • Bruit + vibration
2	Le havage (les haveuses "shortwall" - "longwall", le halage)	X			<ul style="list-style-type: none"> • Problème sur les utilités (air, etc.) • Problème de manutention des outils 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise opération des outils • Dysfonctionnement des outils • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Fragmentation de la machine • Projection de matériau (poussière et roches) • Bruit + vibration
3	L'évacuateur de havrit (intégré - non intégré)	X			<ul style="list-style-type: none"> • Problème sur les utilités (air, etc.) • Problème de manutention des outils 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise opération des outils • Dysfonctionnement de havrit • Dysfonctionnement de l'évacuateur • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Fragmentation de la machine • Projection de matériau (poussière et roches) • Bruit + vibration

4	Les mouvements (sur rails, chenilles ou pneus)	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais état des supports (rails) Problème de manutention des outils 	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais état de la galerie Méconnaissance du personnel Env. artificiel Visibilité 	<ul style="list-style-type: none"> Dysfonctionnement des outils Sortie de support de mouvement Collision Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> Projection les mouvements (poussière, roches) Fragmentation du système Chute de plain pied Bruit + vibration Charge thermique
5	La perforation (les perforatrices à main, les perforatrices sur support)	X			<ul style="list-style-type: none"> Problème sur des utilités (air, etc.) Problème de manutention des outils 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Mauvais état du havage Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Mauvaise opération des outils Dysfonctionnement des outils Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> Projection de matériau (poussière, roches) Projection de l'outil Chute de hauteur Bruit + vibration
6	Tir sans explosif (hydrauliques, gaz carbonique, procédés chimiques et l'air comprimé)	X			<ul style="list-style-type: none"> Problème sur des utilités (air, hydraulique) Problème de manutention des outils 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Mauvais état du havage 	<ul style="list-style-type: none"> Mauvaise utilisation des outils Dysfonctionnement des outils Départs intempestifs Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> Projection de matériau (poussière, roches) Projection du tir sans explosif Bruit et vibration Charge thermique
B	Chimiques							
7	Les explosifs	X		X	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais matériaux de tir Toxicité Explosivité Agressivité chimique 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> Manipulation incorrecte Emploi de matériau de tir impropre Départs intempestifs Tir raté (partiel au total) 	<ul style="list-style-type: none"> Projection de matériau (poussière, roches) Matériau explosif après le tir Exposition à une substance dangereuse Bruit et vibration Charge thermique
8	Les essences	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Toxicité Explosivité Inflammabilité Ecotoxicité Agressivité chimique 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Problème de manutention des outils Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> Manipulation incorrecte Perte de la contention 	<ul style="list-style-type: none"> Emission de la substance
9	Les fluides hydrauliques	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Toxicité Explosivité Inflammabilité Ecotoxicité 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Problème de manutention des 	<ul style="list-style-type: none"> Manipulation incorrecte Perte de la contention 	<ul style="list-style-type: none"> Emission de la substance

10	Le grisou (~CH ₄)											
11	La poussière											
12	Autres substances											
13	Toxicité des fumées et les gaz (explosives, gaz de combustion, etc.)											
14	Caractéristiques spécifiques du matériau (ex: amiante, uranium, etc)											

C	Electriques								
15	Electricité pour les machines d'abatage (ex : la station électrique, les ensembles électriques de la machine, etc.)	X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Problème de manutention 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Instabilité du service électrique 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition 	<ul style="list-style-type: none"> • Choc électrique • Endommagement des machines 	
16	Electricité pour les machines des utilités (ex : compresseurs, etc.)	X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Problème de manutention 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Instabilité du service électrique 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition 	<ul style="list-style-type: none"> • Choc électrique • Endommagement des machines 	
17	Les réseaux électriques d'abatage	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Problème de manutention 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Instabilité du service électrique 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition 	<ul style="list-style-type: none"> • Choc électrique • Endommagement des réseaux • Arrêt électrique 	
18	Charge non souhaitée des lignes de tir	X			<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais matériaux d'allumage 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Charge électrique non souhaitée 	<ul style="list-style-type: none"> • Choc électrique • Charge - Décharge électrique 	
19	Génération d'énergie statique par manipulation de matériau ou activités d'exploitation	X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Non mise à la terre 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Charge électrique non souhaitée 	<ul style="list-style-type: none"> • Choc électrique 	
D	D'incendie et d'explosion								
20	Les éléments de tir	X			<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise qualité des éléments • Déflagrante • Explosivité • Stabilité chimique 	<ul style="list-style-type: none"> • Allumage externe • Méconnaissance du personnel • Structure fermée de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> • Allumage 	<ul style="list-style-type: none"> • Détonation • Dispersion des fumées et gaz toxiques • Projection de matériau (poussière, roches) • Projection des fragments • Bruit et Vibration • Charge thermique 	

21	Les lubrifiants ou substances avec caractéristiques combustibles	X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Perte de contention 	<ul style="list-style-type: none"> • Rupture de la contention • Méconnaissance du personnel • Structure fermée de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> • Allumage 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion des fumées et gaz toxiques • Projection des fragments • Bruit et vibration • Charge thermique
22	Caractéristiques spécifiques du matériau	X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Auto inflammation • Agent oxydant • Déflagrante • Explosive 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion confinée • Méconnaissance du personnel • Structure fermée de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> • Allumage 	<ul style="list-style-type: none"> • Déflagration • Dispersion des fumées et gaz toxiques • Charge thermique • Projection de matériau (poussière, roches) • Projection des fragments • Bruit et vibration
E	Rayonnements							
23	Caractéristiques spécifiques du matériau (ex : l'uranium)	X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Radioactivité (naturelle) 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition à la radioactivité
24	Sources ionisantes sur l'abatage	X			<ul style="list-style-type: none"> • Radioactivité 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition à la radioactivité
G	L'homme							
25	Les opérateurs	X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Stress • Fatigue • Non utilisation/ respect des procédures • Malveillance • Sabotage 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Acte de sabotage • Acte de malveillance • Erreur d'opération 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion • Exposition • Charge thermique • Explosion • Endommagement des outils et machines
26	Les personnels d'encadrement (ex : l'ingénieur)	X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Stress • Fatigue • Non utilisation/ respect des procédures • Malveillance • Sabotage 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Acte de sabotage • Acte de malveillance • Erreur d'opération 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion • Exposition • Charge thermique • Explosion • Endommagement des outils et machines

H	Environnement											
27	Conformation géologique dangereuse	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Anormalité géologique Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Instabilité géologique 	<ul style="list-style-type: none"> Chute de matériau (poussière, roches) 			
28	Perturbation de la stabilité géologique pour l'abatage (ex : chute de matériau)	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Instabilité pour l'abatage Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Instabilité de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Chute de matériau (poussière, roches) 			
29	Sources d'inondation	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> La nappe Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Flux d'eau sur la galerie Instabilité de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Inondation Chute de matériau (poussière, roches) 			
30	Les séismes	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Le séisme 	<ul style="list-style-type: none"> Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Mouvement de la galerie, machines et outils 	<ul style="list-style-type: none"> Chute de matériau (poussière, roches) Chute de machines et des outils Chute de hauteur Chute de plain-pied 			
31	La géothermique	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Conformation géothermique 	<ul style="list-style-type: none"> Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Conduction thermique 	<ul style="list-style-type: none"> Charge thermique 			
32	Les supports de la galerie (structure de la galerie)	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Mauvais état des supports Problème de manutention des supports Mauvais design 	<ul style="list-style-type: none"> Constitution géologique Séisme Inondation Corrosion Les insectes et les bactéries Méconnaissance du personnel Non utilisation des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Instabilité partielle au totale du support de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Chute de matériau (poussière, roches) Chute d'outils Chute de hauteur 			
33	Les supports d'opération (la ventilation, le pompage, etc.)	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Mauvais état des supports d'opération Problème de 	<ul style="list-style-type: none"> Constitution géologique Géothermique Le marinage, roulage 	<ul style="list-style-type: none"> Instabilité des outils de support d'opération 	<ul style="list-style-type: none"> Arrêt de pompage Arrêt de ventilation Arrêt électrique 			

					manutention des outils des supports	et transport					
					<ul style="list-style-type: none"> Mauvais design des outils des supports 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation des procédures 					
34	Le marinage, roulage, transport	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais état des outils des supports Problème de manutention des outils des supports Mauvais design des outils 	<ul style="list-style-type: none"> Constitution géologique Méconnaissance du personnel Non utilisation des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Interaction non souhaitée abutage (marinage, roulage, transport) 	<ul style="list-style-type: none"> Projection de matériau (poussière, roches) Fragmentation du machines au l'outil Chute de plain pied Bruit + vibration Charge thermique Emission de la substance 			
I	Economiques et sociaux										
35	Migration	X	X	X							
36	Conflicts	X	X	X							
37	Criminalité	X	X	X							
38	Grands rassemblements	X	X	X							
39	Grèves	X	X	X							

A.2.2 Tableau A: marinage

TABLEAU A Etablissement de processus de danger SOUS-SYSTEME SOURCE SS1 : Exploitation souterraine - Marinage		Evénement initial : événement qui caractérise le changement d'un système qui passe d'un état ou situation normale vers un état ou situation défaillante. Evénement initiateur : événement perturbateur qui est à l'origine du changement d'état ou de situation d'un système. Evénement principal : événement qui manifeste le flux de matière, d'énergie et d'information émis par un système en état ou situation défaillante.			Evénement initiateur		Evénement initial	Evénement principal (flux de danger)
					Phase de vie	Interne		
N°	SOURCE DE DANGER (Grille 1)	Exploitation	Maintenance	Après exploitation				
A	Mécaniques							
1	Par outils individuels (pique - pioche)	X			<ul style="list-style-type: none"> • Problème des utilités (air, etc.) • Problème de manutention des outils 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise opération des outils • Dysfonctionnement des outils • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Projection des outils • Projection de matériau (poussière et roches) • Bruit + vibration
2	Les abatteuses - chargeuses	X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Problème des utilités (air, etc.) • Problème de manutention des outils • Niveau d'automatisation 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise opération des outils • Dysfonctionnement des outils • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Fragmentation de la machine • Projection de matériau (poussière et roches) • Bruit + vibration
3	Les mouvements (sur rails, poulies, treuils, câbles, chenilles ou pneus)	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais état des mouvements • Problème de manutention des mouvements et 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais état de la galerie • Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Dysfonctionnement des outils • Sortie de support de mouvement • Collision 	<ul style="list-style-type: none"> • Projection de matériau (poussière, roches) • Fragmentation de la machine • Chute de plain pied • Bruit + vibration

				outils • Niveau d'automatisation									
B	Chimiques												
	Les explosifs												
4				<ul style="list-style-type: none"> Matériau explosif après le tir Toxicité Explosivité Agressivité chimique 							<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> Choc Allumage Rupture de la contenance d'explosif 	<ul style="list-style-type: none"> Projection de matériau (poussière, roches) Exposition à une substance dangereuse Bruit et vibration Charge thermique
	Les essences												
5				<ul style="list-style-type: none"> Toxicité Explosivité Inflammabilité Ecotoxicité Agressivité chimique 							<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures Problème de manutention des outils Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> Manipulation incorrecte Perte de la contenance 	<ul style="list-style-type: none"> Emission de la substance
	Les fluides hydrauliques												
6				<ul style="list-style-type: none"> Toxicité Explosivité Inflammabilité Ecotoxicité Agressivité chimique 							<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures Problème de manutention des outils Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> Manipulation incorrecte Perte de la contenance 	<ul style="list-style-type: none"> Emission de la substance
	Le grisou (~CH ₄)												
7				<ul style="list-style-type: none"> Toxicité Explosivité 							<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures Non disponibilité de la détection 	<ul style="list-style-type: none"> Emission confinée de grisou 	<ul style="list-style-type: none"> Dispersion confinée de grisou

	8	La poussière	X	X	X						<ul style="list-style-type: none"> • Non disponibilité de l'alarme • Structure fermée de la galerie • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Non disponibilité de la détection • Non disponibilité de l'alarme • Structure fermée de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicité • Explosivité 	<ul style="list-style-type: none"> • Emission confinée de poussière 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion confinée de la poussière
	9	Autres substances	X	X	X						<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Problème de manutention des outils • Structure fermée de la galerie • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicité • Explosivité • Inflammabilité • Ecotoxicité • Agressivité chimique 	<ul style="list-style-type: none"> • Emission 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion
	10	Les fumées et les gaz (explosives, gaz de combustion, etc.)	X								<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Non disponibilité de la détection • Non disponibilité de l'alarme • Structure fermée de la galerie • Mauvaise ventilation • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicité • Ecotoxicité 	<ul style="list-style-type: none"> • Emission confinée 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion confinée

11	Caractéristiques spécifiques du matériau (ex : amiante, uranium, etc.)	X	X	X		• Toxicité	• Méconnaissance du personnel	• Emission confinée	• Dispersion confinée
C	Electriques								
12	Electricité pour les machines de marinage (ex : la station électrique, les ensembles électriques de la machine, etc.)	X	X			• Problème manutention des machines de marinage	• Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Instabilité du service électrique	• Exposition	• Choc électrique • Endommagement des machines
13	Electricité pour les machines des utilités (ex : compresseurs, etc.)	X	X			• Problème manutention des outils	• Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Instabilité du service électrique	• Exposition	• Choc électrique • Endommagement des outils
14	Les réseaux électriques de marinage	X	X	X		• Problème manutention des réseaux	• Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Instabilité du service électrique	• Exposition	• Choc électrique • Endommagement des réseaux • Arrêt électrique
15	Génération d'électricité statique par manipulation de matériau ou activités d'exploitation	X	X			• Non mise à la terre	• Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures	• Charge électrique non souhaitée	• Choc électrique
D	D'incendie et d'explosion								
16	Les éléments de tir après l'abatage	X				• Explosivité	• Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures	• Choc • Allumage	• Explosion • Dispersion des fumées et gaz toxiques • Projection de matériau (poussière, roches)

								<ul style="list-style-type: none"> • Projection des fragments • Bruit et vibration • Charge thermique
17	Les lubrifiants ou substances avec caractéristiques combustibles	X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Perte de la contention 	<ul style="list-style-type: none"> • Rupture de la contention • Méconnaissance du personnel • Structure fermée de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> • Allumage • Choc 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion des combustibles, fumées et gaz toxiques • Projection des fragments • Bruit et vibration • Charge thermique
18	Caractéristiques spécifiques du matériau	X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Auto inflammation • Agent oxydant • Déflagrante • Explosive 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion confinée • Méconnaissance du personnel • Structure fermée de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> • Allumage 	<ul style="list-style-type: none"> • Déflagration • Dispersion des fumées et gaz toxiques • Charge thermique • Projection de matériau (poussière, roches) • Projection des fragments • Bruit et vibration
E	Rayonnements							
19	Caractéristiques spécifiques du matériau (ex : l'uranium)	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Radioactivité (naturelle) 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition à la radioactivité
20	Radon			X	<ul style="list-style-type: none"> • Radioactivité (naturelle) 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Ventilation naturelle de la mine 	<ul style="list-style-type: none"> • Arrêt ventilation mécanique 	<ul style="list-style-type: none"> • Emission de radon
G	L'homme							
20	La population (visiteurs, géologues, chercheurs de cristaux, etc.)			X	<ul style="list-style-type: none"> • Structure fermée de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance de la population du risque minier 	<ul style="list-style-type: none"> • Acte de sabotage • Acte de malveillance • Excursion 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition • Allumage • Vol • Pillage • Manque d'oxygène • Piège

21	Les personnels d'encadrement (ex : l'ingénieur)	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Stress Fatigue Non utilisation/ respect des procédures Malveillance Sabotage 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> Acte de sabotage Acte de malveillance Erreur d'opération 	<ul style="list-style-type: none"> Dispersion Exposition Charge thermique Explosion
H	Environnement							
22	Conformation géologique dangereuse	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Anomalie géologique Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Instabilité géologique 	<ul style="list-style-type: none"> Chute de matériau (poussière, roches)
23	Perturbation de la stabilité géologique pour le marinage (ex : chute de matériau)	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Instabilité pour le marinage Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Instabilité de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Chute de matériau (poussière, roches)
24	Sources d'inondation	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> La nappe Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Flux d'eau sur la galerie Instabilité de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Inondation Chute de matériau (poussière, roches)
25	Les séismes	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Le séisme 	<ul style="list-style-type: none"> Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Mouvement de la galerie, machines et outils 	<ul style="list-style-type: none"> Chute de matériau (poussière, roches) Chute de machines et des outils Chute de hauteur Chute de plain-pied
26	La géothermique	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Conformation géothermique 	<ul style="list-style-type: none"> Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Conduction thermique 	<ul style="list-style-type: none"> Charge thermique
27	Les supports de la galerie	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais état des supports Problème de manutention des supports Mauvais design 	<ul style="list-style-type: none"> Constitution géologique Séisme Inondation Corrosion Les insectes et les bactéries 	<ul style="list-style-type: none"> Instabilité partielle au totale du support de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Chute de matériau (poussière, roches) Chute des machines et d'outils Chute de hauteur

28	Les supports d'opération (la ventilation, le pompage, etc.)											
		X	X	X								
29	L'abatage, roulage et les outils	X	X	X								
I	Economiques et sociaux											
30	Migration	X	X	X								
31	Conflits	X	X	X								
32	Criminalité	X	X	X								
33	Grands rassemblements	X	X	X								
34	Grèves	X	X	X								

A.2.3 Tableau A: roulage

N°		Phase de vie			Evénement initiateur		Evénement initial	Evénement principal (flux de danger)
		Exploitation	Maintenance	Après exploitation	Interne	Externe		
TABLEAU A Etablissement de processus de danger		<p>Evénement initial : événement qui caractérise le changement d'un système qui passe d'un état ou situation normale vers un état ou situation défaillante.</p> <p>Evénement initiateur : événement perturbateur qui est à l'origine du changement d'état ou de situation d'un système.</p> <p>Evénement principal : événement qui manifeste le flux de matière, d'énergie et d'information émis par un système en état ou situation défaillante.</p>						
SOUS-SYSTEME SOURCE SS1 : Exploitation souterraine - Roulage								
A		SOURCE DE DANGER (Grille 1)		Mécaniques				
1	Par outils individuels	X			<ul style="list-style-type: none"> Problème d'utilités (air, etc.) Problème de manutention des outils 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> Mauvaise opération des outils Dysfonctionnement des machines Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> Projection des outils Projection de matériau (poussière et roches) Bruit + vibration
2	Les machines transporteuses	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Problème des machines et outils Problème de manutention des machines Niveau d'automatisation 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> Mauvaise opération des outils Dysfonctionnement des machines Trafique Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> Fragmentation de la machine Projection de matériau (poussière et roches) Bruit + vibration
3	Les rails, poulies, treuils, câbles, chenilles ou pneus	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais état des rails, poulies, treuils, câbles, chenilles ou pneus Problème de 	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais état de la galerie Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non 	<ul style="list-style-type: none"> Dysfonctionnement des rails, poulies, treuils, câbles, chenilles ou pneus Sortie de support de mouvement 	<ul style="list-style-type: none"> Projection de matériau (poussière, roches) Fragmentation des rails, poulies, treuils, câbles, chenilles ou pneus

				manutention des outils • Niveau d'automatisation	respect des procédures	Collision • Env. artificiel	Chute de plain pied • Bruit + vibration
B	Chimiques						
	Les explosifs						
4		X		<ul style="list-style-type: none"> Matériau explosif après le marinage Toxicité Explosivité Agressivité chimique 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> Choc Allumage Rupture de la contenance d'explosive 	<ul style="list-style-type: none"> Projection de matériau (poussière, roches) Exposition à une substance dangereuse Bruit et vibration Charge thermique
	Les essences						
5		X	X	<ul style="list-style-type: none"> Toxicité Explosivité Inflammabilité Ecotoxicité Agressivité chimique 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures Problème de manutention des outils Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> Manipulation incorrecte Perte de la contenance 	<ul style="list-style-type: none"> Emission de la substance
	Les fluides hydrauliques						
6		X	X	<ul style="list-style-type: none"> Toxicité Explosivité Inflammabilité Ecotoxicité Agressivité chimique 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures Problème de manutention des outils Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> Manipulation incorrecte Perte de la contenance 	<ul style="list-style-type: none"> Emission de la substance
	Le grisou (~CH ₄)						
7		X	X	<ul style="list-style-type: none"> Toxicité Explosivité 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures Non disponibilité de détection 	<ul style="list-style-type: none"> Emission confinée de grisou 	<ul style="list-style-type: none"> Dispersion confinée de grisou

						<ul style="list-style-type: none"> • Non disponibilité d'alarme • Structure fermée de la galerie • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Non disponibilité de détection • Non disponibilité d'alarme • Structure fermée de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> • Emission confinée de poussière 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion confinée de la poussière 	
8	La poussière	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicité • Explosivité 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Problème de manutention des outils • Structure fermée de la galerie • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Emission 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion 	
9	Autres substances	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicité • Explosivité • Inflammabilité • Ecotoxicité • Aggressivité chimique 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Problème de manutention des outils • Structure fermée de la galerie • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Emission confinée 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion confinée 	
10	Les fumées et les gaz (explosives, gaz de combustion, etc.)	X			<ul style="list-style-type: none"> • Toxicité • Ecotoxicité 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Non disponibilité de détection • Non disponibilité d'alarme • Structure fermée de la galerie • Mauvais de la ventilation • Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Emission confinée 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion confinée 	

11	Caractéristiques spécifiques du matériau (ex : amiante, uranium, etc.)	X	X	X		• Toxicité	• Méconnaissance du personnel	• Emission confinée	• Dispersion confinée
C	Electriques								
12	Electricité pour les machines de roulage (ex : la station électrique, les ensembles électriques de la machine, etc.)	X	X			• Problème maintenance machines	• Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Instabilité du service électrique	• Exposition • Surcharges	• Choc électrique • Fluctuation électrique
13	Electricité pour les machines des utilités (ex : compresseurs, etc.)	X	X			• Problème maintenance	• Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Instabilité du service électrique	• Exposition • Surcharges	• Choc électrique • Fluctuation électrique
14	Les réseaux électriques de roulage	X	X	X		• Problème maintenance	• Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Instabilité du service électrique	• Exposition • Surcharges	• Choc électrique • Fluctuation électrique • Arrêt électrique
15	Génération d'énergie statique par la manipulation de matériau ou les activités d'exploitation	X	X			• Non mise à la terre	• Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures	• Charge électrique non souhaitée	• Choc électrique
D	D'incendie et d'explosion								
16	Les éléments de tir après l'abatage	X				• Explosivité	• Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures	• Choc • Allumage	• Explosion • Dispersion des fumées et gaz toxiques • Projection de matériau (poussière, roches)

								<ul style="list-style-type: none"> • Projection des fragments • Bruit et vibration • Charge thermique
17	Les lubrifiants ou substances avec caractéristiques combustibles	X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Perte de la contention 	<ul style="list-style-type: none"> • Rupture de la contention • Méconnaissance du personnel • Structure fermée de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> • Allumage • Choque 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion des combustibles, fumées et gaz toxiques • Projection des fragments • Bruit et vibration • Charge thermique
18	Caractéristiques spécifiques du matériau	X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Auto inflammation • Agent oxydant • Déflagrante • Explosive 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion confinée • Méconnaissance du personnel • Structure fermée de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> • Allumage 	<ul style="list-style-type: none"> • Déflagration • Dispersion des fumées et gaz toxiques • Charge thermique • Projection de matériau (poussière, roches) • Projection des fragments • Bruit et vibration
E	Rayonnements							
19	Caractéristiques spécifiques du matériau (ex : l'uranium)	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Radioactivité (naturelle) 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition à la radioactivité
G	L'homme							
20	Les opérateurs	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Stress • Fatigue • Non utilisation/ respect des procédures • Malveillance • Sabotage 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Acte de sabotage • Acte de malveillance • Erreur d'opération 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion • Exposition • Charge thermique • Explosion
21	Les personnels d'encadrement (ex : l'ingénieur)	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Stress • Fatigue • Non utilisation/ respect des procédures • Malveillance • Sabotage 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Acte de sabotage • Acte de malveillance • Erreur d'opération 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion • Exposition • Charge thermique • Explosion

H	Environnement										
22	Conformation géologique dangereuse	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Anomalie géologique Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Instabilité géologique 	<ul style="list-style-type: none"> Chute de matériau (poussière, roches) 			
23	Perturbation de la stabilité géologique pour le roulage (ex : chute de matériau)	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Instabilité pour le roulage Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Instabilité de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Chute de matériau (poussière, roches) 			
24	Sources d'inondation	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> La nappe Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Flux d'eau sur la galerie Instabilité de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Inondation Chute de matériau (poussière, roches) 			
25	Les séismes	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Le séisme 	<ul style="list-style-type: none"> Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Mouvement de la galerie et des outils 	<ul style="list-style-type: none"> Chute de matériau (poussière, roches) Chute de machines et des outils Chute de hauteur Chute de plain-pied 			
26	La géothermique	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Conformation géothermique 	<ul style="list-style-type: none"> Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Conduction thermique 	<ul style="list-style-type: none"> Charge thermique 			
27	Les supports de la galerie	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais état des supports Problème de manutention des supports Mauvais design 	<ul style="list-style-type: none"> Constitution géologique Séisme Inondation Corrosion Les insectes et les bactéries Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Instabilité partielle au totale du support de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Chute de matériau (poussière, roches) Chute des machines et d'outils Chute de hauteur 			
28	Les supports d'opération (la	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Mauvaise qualité des supports 	<ul style="list-style-type: none"> Constitution géologique 	<ul style="list-style-type: none"> Instabilités des supports d'opération 	<ul style="list-style-type: none"> Arrêt de pompage Arrêt de ventilation 			

	ventilation, le pompage, etc.)				<ul style="list-style-type: none"> Problème de manutention des supports Mauvais design 	<ul style="list-style-type: none"> Géothermique L'abatage, marinage, Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures 		<ul style="list-style-type: none"> Arrêt électrique
29	L'abatage, marinage, outils	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais état des supports (L'abatage, marinage, outils) Problème de manutention des supports (L'abatage, marinage, outils) Mauvais accouplement Mauvais design 	<ul style="list-style-type: none"> Constitution géologique Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Interaction non souhaitée roulage - abatage, marinage, outils 	<ul style="list-style-type: none"> Projection de matériau (poussière, roches) Fragmentation des machines Chute de plain pied Bruit + vibration Charge thermique Emission de la substance
I	Economiques et sociaux							
30	Migration	X	X	X				
31	Conflits	X	X	X				
32	Criminalité	X	X	X				
33	Grands rassemblements	X	X	X				
24	Grèves	X	X	X				

A.2.4 Tableau A: les opérations annexes

TABLEAU A Etablissement de processus de danger SOUS-SYSTEME SOURCE SS1 : Exploitation souterraine - Les opérations annexes		Evénement initial : événement qui caractérise le changement d'un système qui passe d'un état ou situation normale vers un état ou situation défaillante. Evénement initiateur : événement perturbateur qui est à l'origine du changement d'état ou de situation d'un système. Evénement principal : événement qui manifeste le flux de matière, d'énergie et d'information émis par un système en état ou situation défaillante.		Evénement initiateur		Evénement initial	Evénement principal (flux de danger)	
				Phase de vie	Interne			Externe
N°	SOURCE DE DANGER (Grille 1)	Exploitation	Maintenance	Après exploitation				
A	Mécaniques							
1	Le ventilateur d'aérage principal	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Problème sur les utilités (électricité, etc.) Problème de manutention des outils 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures Activités sur la galerie Activités en surface Foudre Problème sur des supports 	<ul style="list-style-type: none"> Mauvaise opération des outils Dysfonctionnement des machines Désaccouplement de la machine 	<ul style="list-style-type: none"> Projection des outils Projection de matériau Bruit + vibration Arrêt du flux Diminution du différentiel de pression
2	Le ventilateur d'aérage secondaire	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Problème sur les utilités (électricité, etc.) Problème de manutention des 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Mauvaise opération des outils Dysfonctionnement des machines Désaccouplement de la 	<ul style="list-style-type: none"> Projection des outils Projection de matériau Bruit + vibration Arrêt du flux Diminution du différentiel de

				outils	activités sur la galerie	machine	pression
					<ul style="list-style-type: none"> • Activités sur la galerie • Problème sur des supports 		
3	Les pompes			<ul style="list-style-type: none"> • Problème sur les utilités (électricité, etc.) • Problème de manutention des outils 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Activités sur la galerie • Problème des supports 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise opération des outils • Dysfonctionnement des machines • Désaccouplement de la machine 	<ul style="list-style-type: none"> • Projection des outils • Projection de matériau • Bruit + vibration • Sortie des fluides • Arrêt du flux • Diminution du différentiel de pression
4	Les canalisations			<ul style="list-style-type: none"> • Problème de manutention des outils 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Activités sur la galerie • Activités sur la superfins • Problème sur les supports 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise opération des outils • Désaccouplement 	<ul style="list-style-type: none"> • Projection de matériau • Bruit + vibration • Arrêt du flux • Diminution du différentiel de pression
5	Les buses			<ul style="list-style-type: none"> • Problème de manutention des outils 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Activités sur la galerie • Problème sur les supports 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise opération des outils • Désaccouplement 	<ul style="list-style-type: none"> • Projection de matériau • Bruit + vibration • Sortie d'air • Arrêt du flux • Diminution du différentiel de pression
6	Mécanismes de détection et d'alarme			<ul style="list-style-type: none"> • Problème de manutention des outils 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise opération des détecteurs, de la transmission et des alarmes • Désaccouplement 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise information en détection • Fausse alarme

							<ul style="list-style-type: none"> • Activités sur la galerie • Problème sur les supports 		
7	Suspension et soutènement des buses et canalisations	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Problème de manutention du soutènement et suspension 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Activités sur la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise opération de la suspension et soutènement • Désaccouplement 	<ul style="list-style-type: none"> • Projection de matériau • Bruit + vibration • Sortie des fluides • Arrêt du flux • Diminution du différentiel de pression • Chute de la suspension et soutènement 	
8	Supports temporaires de la galerie	X			<ul style="list-style-type: none"> • Problème de manutention des supports 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Activités sur la galerie • Etat de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise opération des supports 	<ul style="list-style-type: none"> • Projection de matériau • Bruit + vibration • Chute des supports 	
9	Supportes définitives de la galerie	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Problème de manutention des supports 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Activités sur la galerie • Géologie • Hydrologie 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise opération des supports 	<ul style="list-style-type: none"> • Projection de matériau • Bruit + vibration • Chute des supports 	
10	Les puits et ponts	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Problème de manutention des supports • Structure de hauteur • Stabilité des structures 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Activités sur la galerie • Non isolation et signalisation de sites en hauteur 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise opération des ports et puits 	<ul style="list-style-type: none"> • Chute des ponts • Chute de hauteur • Chute de matériaux 	

B	Chimiques										
11	Les essences										
		X	X	X							
12	Les fluides hydrauliques										
		X	X	X							
13	Le grisou (~CH ₄)										
		X	X	X							
14	La poussière										
		X	X	X							

								procédures <ul style="list-style-type: none"> Non disponibilité de détection Non disponibilité d'alarme Structure fermée de la galerie 			
15	Autres substances (ex : les batteries)							<ul style="list-style-type: none"> Toxicité Explosivité Inflammabilité Ecotoxicité Agressivité chimique 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures Problème de maintenance des outils Structure fermée de la galerie Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> Emission 	<ul style="list-style-type: none"> Dispersion
16	Les fumées et les gaz (explosives, gaz de combustion, etc.)	X	X					<ul style="list-style-type: none"> Toxicité Ecotoxicité 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non disponibilité de la détection Non disponibilité d'alarme Structure fermée de la galerie Mauvaise ventilation Env. artificiel 	<ul style="list-style-type: none"> Emission confinée 	<ul style="list-style-type: none"> Dispersion confinée
17	Caractéristiques spécifiques du matériau (ex : amiante, uranium, etc.)	X	X					<ul style="list-style-type: none"> Toxicité 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> Emission confinée 	<ul style="list-style-type: none"> Dispersion confinée
C	Electriques										
18	Electricité pour les machines (ex : la station électrique, les ensembles électriques de la machine, etc.)	X	X	X				<ul style="list-style-type: none"> Problème de maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Exposition Surcharges 	<ul style="list-style-type: none"> Choc électrique Fluctuation électrique Mauvais fonctionnement ou arrêt des machines

									<ul style="list-style-type: none"> ● Instabilité du service électrique 		
19	Electricité pour les portes, détection et alarme	X	X	X			<ul style="list-style-type: none"> ● Problème de maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> ● Méconnaissance du personnel ● Non utilisation/ Non respect des procédures ● Instabilité du service électrique 	<ul style="list-style-type: none"> ● Exposition ● Surcharges 	<ul style="list-style-type: none"> ● Mauvais fonctionnement des portes ou détection et alarme 	
20	Les réseaux électriques	X	X	X			<ul style="list-style-type: none"> ● Problème de maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> ● Méconnaissance du personnel ● Non utilisation/ Non respect des procédures ● Instabilité du service électrique 	<ul style="list-style-type: none"> ● Exposition ● Surcharges 	<ul style="list-style-type: none"> ● Choc électrique ● Fluctuation électrique ● Arrêt du réseau 	
21	Les accumulateurs et batteries	X	X				<ul style="list-style-type: none"> ● Problème de maintenance des accumulateurs 	<ul style="list-style-type: none"> ● Méconnaissance du personnel ● Non utilisation/ Non respect des procédures ● Instabilité du service électrique 	<ul style="list-style-type: none"> ● Exposition ● Surcharges 	<ul style="list-style-type: none"> ● Choc électrique ● Fluctuation électrique ● Arrêt de l'accumulateur 	
22	La lampisterie	X	X	X			<ul style="list-style-type: none"> ● Problème de maintenance de la lampisterie 	<ul style="list-style-type: none"> ● Méconnaissance du personnel ● Non utilisation/ Non respect des procédures ● Événements naturels 	<ul style="list-style-type: none"> ● Exposition 	<ul style="list-style-type: none"> ● Choc électrique ● Chute d'objets 	
23	Mauvais continuité au l'interruption des signaux électriques	X	X	X			<ul style="list-style-type: none"> ● Problème de maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> ● Méconnaissance du personnel ● Non utilisation/ Non respect des procédures ● Instabilité du service électrique 	<ul style="list-style-type: none"> ● Exposition ● Surcharges 	<ul style="list-style-type: none"> ● Mauvais fonctionnement des portes ou détection et alarme 	

24	Mauvaises détection et alarmes	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Problème de maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures Instabilité du service électrique 	<ul style="list-style-type: none"> Exposition Surcharges 	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais fonctionnement des portes ou détection et alarme
25	Génération d'énergie statique par manipulation de matériau ou des activités d'exploitation	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Non mise à la terre 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Charge électrique non souhaitée 	<ul style="list-style-type: none"> Choc électrique
D	D'incendie et d'explosion								
26	Les réseaux électriques ou de ventilation	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Interconnexion des galeries 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures Structure fermée des réseaux ATEX 	<ul style="list-style-type: none"> Allumage 	<ul style="list-style-type: none"> Explosion Déflagration Dispersion des fumées et gaz toxiques Projection de matériau (poussière, roches) Projection de réseau Bruit et vibration Charge thermique
27	Les lubrifiants ou substances avec caractéristiques combustibles	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Perte de la contention 	<ul style="list-style-type: none"> Activités de la galerie Méconnaissance du personnel Structure fermée des réseaux 	<ul style="list-style-type: none"> Allumage 	<ul style="list-style-type: none"> Dispersion des combustibles, fumées et gaz toxiques Projection de fragments Bruit et vibration Charge thermique
28	Caractéristiques spécifiques du matériau	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Autoinflammation Agent oxydant Déflagrante Explosive 	<ul style="list-style-type: none"> Dispersion confinée Méconnaissance du personnel Structure fermée de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Allumage 	<ul style="list-style-type: none"> Déflagration Dispersion des fumées et gaz toxiques Charge thermique Projection de matériau (poussière, roches) Projection de fragments Bruit et vibration
E	Rayonnements								

29	Caractéristiques spécifiques du matériau (ex : l'uranium)	X	X	X	● Radioactivité (naturelle)	● Méconnaissance du personnel	● Exposition	● Exposition à la radioactivité
G	L'homme							
30	Les opérateurs	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> ● Stress ● Fatigue ● Non utilisation/ respect des procédures ● Malveillance ● Sabotage ● Criminalité 	<ul style="list-style-type: none"> ● Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> ● Acte de sabotage ● Acte de malveillance ● Erreur d'opération 	<ul style="list-style-type: none"> ● Dispersion ● Exposition ● Charge thermique ● Explosion ● Vol
31	Les personnels d'encadrement (ex : l'ingénieur)	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> ● Stress ● Fatigue ● Non utilisation/ respect des procédures ● Malveillance ● Sabotage ● Criminalité 	<ul style="list-style-type: none"> ● Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> ● Acte de sabotage ● Acte de malveillance ● Erreur d'opération 	<ul style="list-style-type: none"> ● Dispersion ● Exposition ● Charge thermique ● Explosion ● Vol
H	Environnement							
32	Conformation géologique dangereuse	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> ● Anomalie géologique ● Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> ● Méconnaissance du personnel ● Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> ● Instabilité géologique 	<ul style="list-style-type: none"> ● Chute de matériau (poussière, roches)
33	Perturbation de la stabilité géologique pour le roulage (ex : chute de matériau)	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> ● Instabilité pour le roulage ● Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> ● Méconnaissance du personnel ● Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> ● Instabilité de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> ● Chute de matériau (poussière, roches)
34	Sources d'inondation	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> ● La nappe ● Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> ● Méconnaissance du personnel ● Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> ● Flux d'eau sur la galerie ● Instabilité de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> ● Inondation ● Chute de matériau (poussière, roches)

35	Les séismes	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Le séisme 	<ul style="list-style-type: none"> Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Mouvement de la galerie, machines et outils 	<ul style="list-style-type: none"> Chute de matériau (poussière, roches) Chute des outils Chute de hauteur Chute de plain-pied Charge thermique
36	La géothermique	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Conformation géothermique 	<ul style="list-style-type: none"> Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Conduction thermique 	<ul style="list-style-type: none"> Charge thermique
37	Supports de la galerie	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Mauvais état des supports Problème de manutention des supports Mauvais design 	<ul style="list-style-type: none"> Constitution géologique Séisme Inondation Corrosion Les insectes et les bactéries Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Instabilité partielle au totale du support de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Chute de matériau (poussière, roches) Chute des machines et des outils Chute de hauteur
38	Le trafic et les activités liés aux opérations minières	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Mauvaises machines Trafic minier 	<ul style="list-style-type: none"> Constitution géologique Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Choc 	<ul style="list-style-type: none"> Projection de matériau Chute des outils Chute de plain pied Bruit + vibration Charge thermique Emission de la substance
I	Economiques et sociaux								
39	Migration	X	X	X					
40	Conflits	X	X	X					
41	Criminalité	X	X	X					
42	Grands rassemblements	X	X	X					
43	Grèves	X	X	X					

A.2.5 Tableau A: l'homme

N°		Phase de vie			Evénement initiateur		Evénement initial	Evénement principal (flux de danger)
		Exploitation	Maintenance	Après exploitation	Interne	Externe		
TABLEAU A Etablissement de processus de danger		<p>Evénement initial : événement qui caractérise le changement d'un système qui passe d'un état ou situation normale vers un état ou situation défaillante.</p> <p>Evénement initiateur : événement perturbateur qui est à l'origine du changement d'état ou de situation d'un système.</p> <p>Evénement principal : événement qui manifeste le flux de matière, d'énergie et d'information émis par un système en état ou situation défaillante.</p>						
<p>SOUS-SYSTEME SOURCE</p> <p>SS1 :</p> <p>Exploitation souterraine - L'Homme</p>								
A	SOURCE DE DANGER (Grille 1)	Mécaniques						
1	Structure musculo-squelettique	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Problème a priori de la structure musculo-squelettique • Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais design de l'interphase • Mauvaises procédures 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise opération • Travail répétitif 	<ul style="list-style-type: none"> • Effort musculo-squelettique non souhaité
B	Chimiques							
2	Gaz produits par la respiration	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicité 	<ul style="list-style-type: none"> • Structure fermée de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> • Emission 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition à des gaz asphyxiants
3	Autres substances toxiques	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicité • Ecotoxicité 	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> • Manipulation incorrecte • Emission de substances 	<ul style="list-style-type: none"> • Emission de la substance

C	Electriques											
D	D'incendie et d'explosion											
4	Energie statique	X	X	X								• Choc électrique
E	Rayonnements											
B	Biologiques											
5	Bactéries et virus	X	X	X								• Exposition à des virus ou bactéries
6	Stress	X	X									• Présence de virus ou bactéries
7	Fatigue	X	X									• Exposition à des virus ou bactéries
G	L'homme											
6	Stress	X	X									• Charge thermique • Flux de matériau • Dispersion confinée • Bruit et vibration • Violence • Conflits
7	Fatigue	X	X									• Charge thermique • Flux de matériau • Dispersion confinée • Bruit et vibration

									<ul style="list-style-type: none"> • Violence • Conflits
8	Distraction								<ul style="list-style-type: none"> • Charge thermique • Flux de matériau • Dispersion confinée • Bruit et vibration • Conflits
9	Panique								<ul style="list-style-type: none"> • Charge thermique • Flux de matériau • Dispersion confinée • Bruit et vibration • Violence • Conflits
10	Méconnaissance								<ul style="list-style-type: none"> • Charge thermique • Flux de matériau • Dispersion confinée • Bruit et vibration • Conflits
11	Non utilisation/ Non respect des procédures								<ul style="list-style-type: none"> • Charge thermique • Flux de matériau • Dispersion confinée • Bruit et vibration • Conflits

								interne)				
	Conflicts							<ul style="list-style-type: none"> • Conditions de travail dans la galerie (atmosphère, services miniers) • Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> • Emission de substances • Action violente 	<ul style="list-style-type: none"> • Charge thermique • Flux de matériau • Dispersion confinée • Bruit et vibration • Violence • Conflits 		
12								<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaises conditions de surveillance • Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> • Sabotage interne • Sabotage externe 	<ul style="list-style-type: none"> • Charge thermique • Flux de matériau • Bruit et vibration • Violence • Conflits 		
13	Malveillance							<ul style="list-style-type: none"> • Aptitude malveillante 				
14	Criminalité							<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaises conditions de surveillance • Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> • Vol • Trafic de matériau 	<ul style="list-style-type: none"> • Charge thermique • Flux de matériau • Bruit et vibration • Violence • Conflits 		
15	Consommation d'alcool et de drogue							<ul style="list-style-type: none"> • Non utilisation/ Non respect des procédures • Disponibilité sur le site • Tradition minière 	<ul style="list-style-type: none"> • Perturbation du comportement 	<ul style="list-style-type: none"> • Distraction • Mauvais 		
16	Mauvaise interprétation							<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du procédé • Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaises actions 	<ul style="list-style-type: none"> • Charge thermique • Flux de matériau • Dispersion confinée • Bruit et vibration • Violence • Conflits 		
17	Mauvaise hypothèses de dimensionnement							<ul style="list-style-type: none"> • Non utilisation/ Non respect des procédures • Mauvaise information 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaises bases de calculs 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais dimensionnement 		

H	Environnement									
18	Activité minière	X	X	X						<ul style="list-style-type: none"> • Bruit + vibration • Projection de matériau (poussière et roches) • Trafic dans la galerie • Intervention géologique • Population exposée
19	Grands rassemblements	X	X	X						<ul style="list-style-type: none"> • Instabilité géologique • Population
I	Economiques et sociaux									<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures • Population voisine • Sites touristiques • Ecoles • Hôpitaux • Autoroutes

A.2.6 Tableau A: l'environnement

N°		SOURCE DE DANGER (Grille 1)	Phase de vie			Evénement initiateur		Evénement initial	Evénement principal (flux de danger)
			Exploitation	Maintenance	Après exploitation	Interne	Externe		
		SOUS-SYSTEME SOURCE SS1 : Exploitation souterraine - l'Environnement	Evénement initial : événement qui caractérise le changement d'un système qui passe d'un état ou situation normale vers un état ou situation défaillante. Evénement initiateur : événement perturbateur qui est à l'origine du changement d'état ou de situation d'un système. Evénement principal : événement qui manifeste le flux de matière, d'énergie et d'information émis par un système en état ou situation défaillante.						
A			Mécaniques						
B			Chimiques						
1		Le grisou (~CH ₄)	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> Toxicité Explosivité 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures Non disponibilité de détection Non disponibilité d'alarme Structure fermée de 	<ul style="list-style-type: none"> Emission confinée de grisou Dispersion confinée de grisou

	Le charbon												
2		X	X	X									
3	Caractéristiques spécifiques du matériau (ex : amiante, uranium, etc.)	X	X	X									
C	Electriques												
4	Foudre	X	X	X									
D	D'incendie et d'explosion												
5	Caractéristiques spécifiques du matériau	X	X	X									
E	Rayonnements												
6	Caractéristiques spécifiques du matériau (ex : l'uranium)	X	X	X									

G	L'homme									
7	Les opérateurs	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Stress Fatigue Non utilisation/respect des procédures Malveillance Sabotage 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> Acte de sabotage Acte de malveillance Erreur d'opération 	<ul style="list-style-type: none"> Dispersion Exposition Charge thermique Explosion 		
8	Les personnels d'encadrement (ex : l'ingénieur)	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Stress Fatigue Non utilisation/respect des procédures Malveillance Sabotage 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> Acte de sabotage Acte de malveillance Erreur d'opération 	<ul style="list-style-type: none"> Dispersion Exposition Charge thermique Explosion 		
H	Environnement									
9	Conformation géologique dangereuse	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Anomalie géologique Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Instabilité géologique 	<ul style="list-style-type: none"> Chute de matériau (poussière, roches) 		
10	Structure de la galerie	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Structure fermée Puits Skip 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> Condition non sûre de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Chute de hauteur Dispersion confinée 		
11	Les flux naturels des eaux	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Les nappes Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Méconnaissance du personnel Non utilisation/ Non respect des procédures Structure de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Flux d'eau sur la galerie Instabilité de la galerie 	<ul style="list-style-type: none"> Inondation Chute de matériau (poussière, roches) 		
12	Les événements naturels	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> Tempêtes tropicales Tsunamis Cyclones Séismes 	<ul style="list-style-type: none"> Structure de la galerie Activité anthropique 	<ul style="list-style-type: none"> Event géologique, climatique au d'environnement 	<ul style="list-style-type: none"> Inondation Chute de matériau (poussière, roches) Charge thermique 		

					<ul style="list-style-type: none"> • Inondation • Parasites • Sécheresses • Eboulement • Désertification 				<ul style="list-style-type: none"> • Instabilité de la galerie • Dessèchement • Montée de la nappe après exploitation
13	Les supports de la galerie				<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais état des supports • Problème de manutention des supports • Mauvais design 			<ul style="list-style-type: none"> • Constitution géologique • Séisme • Inondation • Corrosion • Les insectes et les bactéries • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> • Chute de matériau (poussière, roches) • Chute des outils • Chute de hauteur
14	Les supports d'opération (la ventilation, le pompage, etc.)				<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais supports • Problème de manutention des supports • Mauvais design 			<ul style="list-style-type: none"> • Constitution géologique • Géothermique • Extraction, marinage, roulage et transport • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> • Arrêt de pompage • Arrêt de ventilation • Arrêt électrique
15	L'abatage, marinage, outils				<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais état des supports • Problème des supports • Mauvais accouplement • Mauvais design 			<ul style="list-style-type: none"> • Constitution géologique • Méconnaissance du personnel • Non utilisation/ Non respect des procédures 	<ul style="list-style-type: none"> • Projection de matériau (poussière, roches) • Fragmentation d'outil • Chute de plain pied • Bruit + vibration • Charge thermique • Emission de la substance
I	Economiques et sociaux								

35	Migration	X	X	X								
36	Confits	X	X	X								
37	Criminalité	X	X	X								
38	Grands rassemblements	X	X	X								
39	Grèves	X	X	X								

A.3 Etablissement des barrières de neutralisation

Tableau B

Scénarios :

- **Silicose**
- **Explosion**
- **Effondrement**

A.3.1 Tableau B: silicozes, explosion et effondrement

TABEAU B Identification des barrières de neutralisation SCENARIOS Silicozes, explosion et effondrement		PHASE DE VIE				EX EN AP	AP EN X	Silicoze Etude d'impact (BU) Etude de danger (BU) Limites autorisées (environnement + santé) (BU)	Explosion Etude d'impact (BU) Etude de danger (BU) Limites autorisées (environnement + santé) (BU)	Effondrement Etude d'impact (BU) Etude de danger (BU) Limites autorisées (environnement + santé) (BU)
		EX	EN	AP	Silicoze					
1	Solutions pour éliminer les sources de danger MODULES DE CONCEPTION									
1.1	Recherche des principales solutions quant à la conception , la construction (étude de protection collective, sécurité intrinsèque)	X	X	X						

				<ul style="list-style-type: none"> Techniques d'abatage Techniques de marinage Techniques de roulage Contrôle de la poussière Protection individuelle Ventilation Soutènement Système d'information minier Hygiène et protection environnementale Plan d'aide mutuelle Communication de risques 	<ul style="list-style-type: none"> Techniques d'abatage Techniques de marinage Techniques de roulage Contrôle de la poussière Protection individuelle Arrêt partiel ou total de l'exploitation Ventilation Soutènement Pompage Eclairage Energie statique Système d'information minier Hygiène et protection environnemental Plan d'urgence interne Plan d'aide mutuelle Communication de risques 	<ul style="list-style-type: none"> Techniques d'abatage Contrôle de la poussière Protection individuelle Arrêt partiel ou total de l'exploitation Ventilation Soutènement Pompage Eclairage Energie statique Système d'information minier Hygiène et protection environnementale Plan d'urgence interne Plan d'aide mutuelle Communication de risques 	<ul style="list-style-type: none"> Techniques d'abatage Contrôle de la poussière Protection individuelle Arrêt partiel ou total de l'exploitation Ventilation Soutènement Pompage Eclairage Energie statique Système d'information minier Hygiène et protection environnementale Plan d'urgence interne Plan d'aide mutuelle Communication de risques 		
1.2	Climatisation - Ventilation. Elément important d'une installation en matière de prévention.						<ul style="list-style-type: none"> Techniques de ventilation Ventilation en maintenance Contrôle de la poussière 	<ul style="list-style-type: none"> Techniques de ventilation Ventilation en maintenance Etude de la ventilation naturelle lors de l'après mine Contrôle de la poussière 	<ul style="list-style-type: none"> Techniques de ventilation Ventilation en maintenance Etude de la ventilation naturelle après mine Contrôle de la poussière
2	MODULES CONCERNANT LE PERSONNEL								
2.1	Protection individuelle (Equipements de protection individuelle « EPI »)						<ul style="list-style-type: none"> Techniques de ventilation Ventilation en maintenance Etude de la ventilation naturelle après mine Contrôle de la poussière 	<ul style="list-style-type: none"> Techniques de ventilation Ventilation en maintenance Etude de la ventilation naturelle après mine Contrôle de la poussière 	<ul style="list-style-type: none"> Techniques de ventilation Ventilation en maintenance Etude de la ventilation naturelle après mine Contrôle de la poussière

				(BU+BT): <ul style="list-style-type: none"> • Respiratoire 	(BU+BT): <ul style="list-style-type: none"> • Respiratoire • Auditive • Faciale • Tête • Antichute • Corps • Mains • Pieds 	(BU+BT): <ul style="list-style-type: none"> • Respiratoire • Auditive • Faciale • Tête • Antichute • Corps • Mains • Pieds
2.2	Surveillance médicale			Protocole de surveillance médicale du secteur minier (BU)	Protocole de surveillance médicale du secteur minier (BU)	Protocole de surveillance médicale des anciens mineurs (BU)
				Protocole de surveillance épidémiologique régional associé à l'exploitation minière (BU)	Protocole de surveillance épidémiologique régional associé à l'exploitation minière (BU)	Protocole de surveillance épidémiologique régional associé à l'exploitation minière (BU)
				Systèmes d'information de la surveillance médicale « interne - nationale » (BU)	Systèmes d'information de la surveillance médicale « interne - nationale » (BU)	Systèmes d'information de la surveillance médicale « interne - nationale » (BU)
				Programme de réduction de la consommation de tabac et de ses effets renforçateur (BU)		
				Habilitation pour l'utilisation de machines minières «véhicules miniers, etc. » (BU)	Habilitation pour l'utilisation d'explosifs (BU)	Habilitation à l'évaluation des dangers et risques (BU)
2.3	Formation du individuelle - habilitation				Habilitation pour l'utilisation de	

					Formation EPI (BU)
					Formation premiers secours (BU)
					Formation en sécurité minière (BU)
					Formation travail en hauteur (BU)
					Formation en systèmes de détection et alarme (BU)
					Formation au plan d'évacuation d'urgence (BU)
					Formation à l'incendie minier (BU)
				machines minières «véhicules miniers, etc. » (BU)	
				Habilitation électrique	
				Habilitation à l'évaluation des dangers et risques (BU)	
				Formation pour utilisation des outils miniers (BU)	
				Formation EPI (BU)	
				Formation en systèmes et techniques d'audits (BU)	
				Formation à la survie minière (BU)	
				Formation vis-à-vis des procédures de travail sûres (BU)	
				Formation en systèmes de détection et alarme (BU)	
				Formation en évaluation du poste de travail (BU)	
				Formation premiers secours (BU)	
				Formation en sécurité minière (BU)	
				Formation à la survie minière (BU)	

2.4	Facteur d'ambiance	X	X	X	Structure fermée de la galerie	Structure fermée de la galerie	Structure fermée de la galerie
					Formation vis-à-vis des procédures de travail sûres (BU)	Formation en inspection après souffle (BU)	
					Formation en systèmes de détection et alarme (BU)	Formation au plan d'évacuation d'urgence (BU)	
					Formation à l'incendie minier (BU)	Formation en évaluation du poste de travail (BU)	

2.5	Comportement humain				
		Matériaux d'extraction	Matériaux associés à l'extraction	Matériaux d'extraction	Matériaux associés à l'extraction
		Travail en milieux confinés	Travail en milieux confinés	Travail en milieux confinés	Travail en milieux confinés
		Obscurité	Obscurité	Obscurité	Obscurité
		Températures extrêmes	Températures extrêmes	Températures extrêmes	Températures extrêmes
		Haut niveau de bruit	Haut niveau de bruit	Haut niveau de bruit	Haut niveau de bruit
		Panique	Panique	Panique	Panique
		Malveillance	Désorientation	Désorientation	Désorientation
				Malveillance	Malveillance
				Fatigue	
					Bagarreur
					Bagarreur

		Curiosité	Vol					
		Vol						
3	MODULES TECHNIQUE ET REGLEMENTAIRE							
3.1	Consignes et consignations - procédures	Consignes en phase normale (BU)	Consignes en phase normale (BU)	Consignes en phase normale (BU)				Consignes en cas d'arrêt partiel ou total de la production (BU)
		Consignes en maintenance (BU)	Consignes en maintenance (BU)	Consignes en maintenance (BU)				Consignes de surveillance (BU)
		Consignes en cas d'arrêt partiel ou total de la production (BU)	Consignes en cas d'arrêt partiel ou total de la production (BU)	Consignes en cas d'arrêt partiel ou total de la production (BU)				Consignes après opération. Fermeture et stabilisation définitive de la mine (BU)
		Consignes de surveillance (BU)	Consignes de surveillance (BU)	Consignes de surveillance (BU)	X	X	X	Consignes d'investigation « post incident ou accident » (BU)
		Consignes avant opération (BU)	Consignes avant opération (BU)	Consignes avant opération (BU)				Consignes de protection environnementale (BU)
		Consignes après opération (BU)	Consignes après opération (BU)	Consignes après opération (BU)				Consignes de protection du personnel (BU)
		Consignes d'investigation « post incident ou accident » (BU)	Consignes d'investigation « post incident ou accident » (BU)	Consignes d'investigation « post incident ou accident » (BU)				

				Consignes de protection de l'infrastructure (BU)	Consignes de protection de l'infrastructure (BU)		
				Consignes de protection du voisinage (BU)	Consignes de protection de l'infrastructure (BU)		
				Consignes de protection individuelle (BU)	Consignes de protection du voisinage (BU)		
				Consignation du système (BU)	Consigne de protection environnementale (BU)		
				Compte rendu de consignation (BU)	Consignes de protection individuelle (BU)		
				Consignation sur le rapport aux autorités (BU)	Consignation du système (BU)		
					Compte rendu de consignation (BU)		
					Consignation sur le rapport aux autorités (BU)		

3.2	Réglementation applicable				Lois Décrets Arrêtés Normes techniques	Lois Décrets Arrêtés Normes techniques	Lois Décrets Arrêtés Normes techniques
3.3	Contrôles et vérifications techniques : contrôle qualité	X	X	X	Audits (interne - externe) (BU) Inspections (BU) Procédures de travail sûr (BU) Permis de travail (BU) Certification du savoir faire (BU) Procédures de validation de l'ouvrage (BU)	Audits (interne - externe) (BU) Inspections (BU) Procédures de travail sûr (BU) Permis de travail (BU) Certification du savoir faire (BU) Procédures de validation de l'ouvrage (BU)	Audits (interne - externe) (BU) Inspections (BU) Procédures de travail sûr (BU) Certification du savoir faire (BU) Habilitation des inspecteurs (BU) Expert minier (BU)

				<p>Procédures d'opérativité et calibration (BU)</p> <p>Habilitation des inspecteurs (BU)</p> <p>Expert minier (BU)</p> <p>Sensibilisation (BU)</p>	<p>Procédures d'opérativité et calibration (BU)</p> <p>Habilitation des inspecteurs (BU)</p> <p>Expert minier (BU)</p> <p>Simulation (BU)</p> <p>Sensibilisation (BU)</p>	<p>Simulation (BU)</p> <p>Sensibilisation (BU)</p>
<p>3.4 Télésurveillance, télédétection, téléméasure, réseaux de communication</p>		<p>x</p>	<p>x</p>	<p>Réseaux de communication et d'information (interne - externe) (BT)</p> <p>Télésurveillance et contrôle des opérations annexes (BT)</p> <p>Circuit de surveillance par TV (BT)</p>	<p>Télédétection de gaz et des conditions de la galerie (BT)</p> <p>Télédétection de fumées et flammes (BT)</p> <p>Réseaux de communication et d'information (interne - externe) (BT)</p>	

3.5	Maintenance				<p>Audit (BU)</p> <p>Sensibilisation (BU)</p> <p>Analyse du REX (BU)</p> <p>Investigation des accidents (BU)</p> <p>Simulations (BU)</p> <p>Entraînement et préparation sur</p>	<p>Audit (BU)</p> <p>Sensibilisation (BU)</p> <p>Analyse du REX (BU)</p> <p>Investigation des accidents (BU)</p> <p>Simulations (BU)</p> <p>Entraînement et préparation sur</p>	<p>Télesurveillance du trafic minier (BT)</p> <p>Télesurveillance et contrôle des opérations annexes (BT)</p> <p>Télécontrôle des machines (BT)</p> <p>Circuit surveillance par TV (BT)</p>	<p>Sensibilisation (BU)</p> <p>Analyse du REX (BU)</p> <p>Investigation des accidents (BU)</p> <p>Simulations (BU)</p> <p>Entraînement et préparation sur scénarios réels (BU)</p>
-----	-------------	--	--	--	---	---	---	--

			scénarios réels (BU)	scénarios réels (BU)	Permis et ordre de travail (BU)
4	MODULES DES POSTES DE TRAVAIL		Permis et ordre de travail (BU) Inspection (BU) Calibration (BU)	Permis et ordre de travail (BU) Inspection (BU) Calibration (BU)	Inspection (BU)
4.1	Définition et étude des postes de travail		Ergonomie (BU + BT) Sécurité industrielle (BU + BT) Protection individuelle (BU + BT) Hygiène (BU + BT) Facteurs d'ambiance (BU + BT)	Ergonomie (BU + BT) Sécurité industrielle (BU + BT) Protection individuelle (BU + BT) Hygiène (BU + BT) Facteurs d'ambiance (BU + BT)	Ergonomie (BU + BT) Sécurité industrielle (BU + BT) Protection individuelle (BU + BT) Hygiène (BU + BT) Facteurs d'ambiance (BU + BT)
5	MODULES CONCERNANT LE CHAMP SPECIFIQUE ET L'ENVIRONNEMENT				

5.1	Implantation (choix) - balisage - accès - circulation (interne ou externe)					Accès libres à la galerie et au chantier (BT)	Accès libres à la galerie et au chantier (BT)	Accès libres à la galerie et au chantier (BT)	Accès libres à la galerie et au chantier (BT)
						Issues de secours (BT)	Issues de secours (BT)	Issues de secours (BT)	Issues de secours (BT)
						Accès du personnel (BT)	Accès du personnel (BT)	Accès du personnel (BT)	Accès du personnel (BT)
						Isolations (BT)	Isolations (BT)	Isolations. POT (BT)	Isolations. POT (BT)
					X	Stockage et balisage des matériaux miniers (BT)	Stockage et balisage des matériaux miniers (BT)	Stockage et balisage des déchets miniers (BT)	Stockage et balisage des déchets miniers (BT)
					X	Stockage et balisage des déchets miniers (BT)	Stockage et balisage des déchets miniers (BT)	Appareillage et ouvrage pour le contrôle d'impact (BT)	Appareillage et ouvrage pour le contrôle d'impact (BT)
						Appareillage et ouvrage pour le contrôle d'impact (BT)	Appareillage et ouvrage pour le contrôle d'impact (BT)	Appareillage et ouvrage pour le contrôle de danger (BT)	Appareillage et ouvrage pour le contrôle de danger (BT)
						Appareillage et ouvrage pour le contrôle de danger (BT)	Appareillage et ouvrage pour le contrôle de danger (BT)	Appareillage et ouvrage pour le contrôle de danger (BT)	Appareillage et ouvrage pour le contrôle de danger (BT)
5.2	Environnement : influence de l'installation sur :								

	Eau					Potabilité « physicochimique, microbiologique et organoleptique » (BU + BT)	Potabilité « physicochimique, microbiologique et organoleptique » (BU + BT)
	Air				Matériaux pulvérulents	Pollution procédé (cyanure, métaux, produits chimiques, hydrocarbures, etc.)	Pollution procédé (cyanure, métaux, produits chimiques, hydrocarbures, etc.)
	Déchets	x	x	x	Déchets miniers	Déchets miniers	Déchets miniers

									Déchets technologiques	Déchets technologiques	Déchets technologiques
									Déchets d'entretien des appareils	Déchets biologiques	Déchets d'entretien des appareils
									Déchets chimiques	Déchets chimiques	Déchets chimiques
Flore					X	X					
Faune					X	X					
Population											
									Facteurs d'ambiance	Facteurs d'ambiance	Facteurs d'ambiance
									Facteurs psychosociaux	Facteurs psychosociaux	Facteurs psychosociaux
									Facteurs socioéconomiques	Facteurs socioéconomiques	Facteurs socioéconomiques

A.4 Qualification des barrières

Tableau C

Scénarios :

- **Explosion**
- **Effondrement**
- **Silicose**

TABLEAU C		PHASE DE VIE														
Qualification des barrières		FN : Fonctionnement Normal IN : Incident														
SCENARIO		FN => étude d'impact IN => étude de danger														
Explosion		BT : Barrière Technologique BU : Barrière d'Utilisation														
N°	Barrières	Sénaire	Conception	Ventilation	Protection individuelle	Surveillance médicale	Formation, habilitation	Facteurs d'ambiance	Comportement humain	Consignes, procédures	Règlementation	Télésurveillance	Maintenance	Implantation	Effer sur l'environnement	Retour d'expérience
I		Explosion														
T.1	Etude d'impact (BU)	Explosion	Guides pour l'étude d'impact				Pour l'évaluation	Réserve naturelles et ressources	Opposition	Définitions de base + étude d'impact	Loi 685 de 2001 + guides environnementaux	Qualité des médias	Rapport périodique à l'autorité env.	Groupe spécialisé	Diagnostic	Positif
	Etude de danger (BU)		Scénario de risque majeur probable et contrôle	Evaluation des systèmes de ventilation	Evaluation des EPI	Evaluation des risques de maladies professionnelles	Pour l'évaluation	Utilisation du territoire	Opposition	Identifier les dangers et évaluer les risques majeurs	Loi 685 de 2001 + Loi 320 de 1996 + Décret 2053 de 1999 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Risque Majeur	Rapport périodique à l'autorité env + Normalisation	Groupe spécialisé	Protection des cibles	Positif (a posteriori)
	Limites autorisées (environnement + santé) (BU)		Limites d'émission de polluants	Evaluation des systèmes de ventilation	Evaluation des EPI	Toxicité	Habilitation + Formation limitée d'exposition	Structure fermée + évolution des travaux	Non respect de la consigne	Détermination d'exposition pour la protection collective et détermination des EPI	Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Détection de IHP	Actualisation des listes et valeurs	Système de gestion SSE	Diagnostic	Positif (a posteriori)
	• Guide du travail minier (BU)															
	• Techniques d'abatage		Guide technique de sélection d'abatage	Ventilation durant l'abatage	EPI abattage + Sécurité Industrielle dans les techniques	Association de maladies professionnelles avec les techniques	Habilitation pour le design	Structure fermée de la galerie + géologie	Non respect de la consigne	Choix des endroits sûrs pour l'abatage	Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Design des niveaux de télé contrôle	Actualisation des techniques et guides	Système de gestion SSE + la machine	Protection	Positif (a posteriori)
	• Techniques de marriage		Guide technique de sélection de marriage	Ventilation durant le marriage	EPI marriage + Sécurité Industrielle dans les techniques	Association de maladies professionnelles avec les techniques	Habilitation pour le design	Structure fermée de la galerie + géologie	Non respect de la consigne	Choix des endroits sûrs pour le marriage	Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Design des niveaux de télé contrôle	Actualisation des techniques et guides	Système de gestion SSE + la machine	Protection	Positif (a posteriori)
	• Techniques de roulage		Guide technique de sélection de roulage	Ventilation durant le roulage	EPI roulage + Sécurité Industrielle dans les techniques	Association de maladies professionnelles avec les techniques	Habilitation pour le design	Structure fermée de la galerie + géologie	Non respect de la consigne	Choix des endroits sûrs pour le roulage	Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Design des niveaux de télé contrôle	Actualisation des techniques et guides	Système de gestion SSE + le système SSE	Protection	Positif (a posteriori)
	• Contrôle de la poussière		Guide technique de contrôle de la poussière	Ventilation pendant la sélection de poussière	EPI roulage + Sécurité Industrielle dans les techniques	Association de maladies professionnelles avec les techniques	Habilitation pour le design	Structure fermée de la galerie + géologie	Non respect de la consigne	Non production de poussière	Décret 1335 de 1987	Design des niveaux de télé contrôle	Actualisation des techniques et guides	Système de gestion SSE + la machine + l'activité	Protection	Positif (a posteriori)
	• Protection individuelle		Guide technique de protection individuelle		Normalisation des EPI	Association de maladies professionnelles avec les polluants	Pour la certification	Structure fermée de la galerie + géologie	Non respect de la consigne	Protection des personnes	Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Actualisation des niveaux de télé contrôle	Actualisation des EPI et normes	EPI + le système SSE	Production de HAZMAT	Positif (a posteriori)
	• Arrêt partiel ou total de l'exploitation		Programmation de travail minier et l'ouvrage	Evaluation de la ventilation naturelle	EPI en post exploitation	Association de maladies post exploitation + les polluants et l'ouvrage	Habilitation pour l'évaluation + Habilitation pour le design	Géologie + usage du territoire + structure fermée et exploitation	Non respect de la consigne + Facteurs culturels	Fermeture site pour la protection des cibles	Loi 685 de 2001 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Actualisation des normes et guides	Actualisation des normes et guides	L'ouvrage arrêté + Le système de SSE	Production de déchets (couvrage des infrastructures, matras (paysage, etc.)	Positif (a posteriori)
	• Ventilation		Guide technique de ventilation et climatisation	Design de la ventilation utilisée en exploitation minière			Habilitation pour le design	Géologie + structure fermée de galerie	Non respect de la consigne	Assurer les bonnes conditions d'aération dans la mine	Décret 1335 de 1987	Télé contrôle et surveillance	Actualisation des normes et guides	Système de gestion SSE + la machine	Emissions fixes	

<ul style="list-style-type: none"> • Soutènement 																		Effondrement + chute de matériau
<ul style="list-style-type: none"> • Pompage 																		Effondrement + chute de matériau + pollution
<ul style="list-style-type: none"> • Éclairage 																		Électrocutions
<ul style="list-style-type: none"> • Energie statique 																		Sources d'ignition
<ul style="list-style-type: none"> • Système d'information minier 																		Évaluation du potentiel minier et projection
<ul style="list-style-type: none"> • Hygiène et protection environnemental 																		Évaluation des procédures pour la surveillance et de l'environnement
<ul style="list-style-type: none"> • Plan d'urgence interne 																		Protocoles et techniques de sauvetage
<ul style="list-style-type: none"> • Plan d'aide mutuelle 																		Protocoles et plans d'aide mutuelle
<ul style="list-style-type: none"> • Communication de risques 																		Res. Care + CLIC
																		Res. Care + CLIC
1.2	<ul style="list-style-type: none"> • Guide du travail minier - Ventilation • Techniques de ventilation et climatization 																	Grand nombre d'accidents et d'incidents
																		Emission fixe des polluants
																		Système de gestion SSE + la machine
																		Actualisation des normes et guides + Surveillance
																		Télé surveillance et
																		Télé surveillance
																		Télé surveillance des données
																		Télé surveillance des données
																		Exploitation et actualisation
																		Exploitation et actualisation
																		Simulation
																		Télé surveillance météorologique
																		Télé surveillance du réseau d'aide mutuelle
																		Simulation
																		Simulation, information, concertation
																		Simulation
																		Simulation, information, concertation
																		Télé surveillance et
																		Télé surveillance
																		Assurer la stabilité de l'ouvrage
																		Assurer la stabilité de l'ouvrage
																		Assurer l'éclairage
																		Assurer le contrôle de l'énergie statique
																		Systématisation et analyse des données minières
																		Protection de la population et de l'environnement
																		Maîtrise des événements non sûrs et secours minier
																		Aide manuelle
																		Information et des risques associés à l'exploitation minière
																		Durabilité de l'exploitation dans le territoire
																		Assurer les bonnes conditions d'aération dans la mine

	<ul style="list-style-type: none"> Ventilation en maintenance Etude de la ventilation naturelle lors de l'après mine Contrôle de la poussière 	Ventilation en arrêt partiel au total	Ventilation post exploitation	Manque d'oxygène	Manque d'oxygène	Formation pour la maintenance	Géologie + structure fermée de galerie	Non respect de la consigne	Assurer l'opérativité des équipements de ventilation et de travail sûr	Décret 1335 de 1987	Télédetection des gaz explosifs ou toxiques et de l'oxygène	Actualisation des normes et guides + Surveillance	Système de gestion SSE + la machine + le groupe de maintenance	HAZMAT de maintenance	Grand nombre d'accidents et d'incidents
	<ul style="list-style-type: none"> Etude de la ventilation naturelle lors de l'après mine Contrôle de la poussière 	Ventilation post exploitation	Contrôle de dispersion de la poussière + Contrôle de la poussière dans la ventilation	Manque d'oxygène	Manque d'oxygène	Habilitation pour le design	Géologie + usage du terrain + structure fermée de galerie	Non respect de la consigne	Fermeture sûre de la mine	Décret 1335 de 1987		Actualisation des normes et guides + Surveillance	Procédure de fermeture de la mine	Emission fixe des polluants	Manque d'oxygène, ATEX, radon
2	<ul style="list-style-type: none"> Guide du travail minier : protection individuelle « EPI » (BU) Norme de construction des EPI (BU)+BT): <ul style="list-style-type: none"> Respiratoire Auditive Faciale Tête Anticulate Corps Main Pieds Station de survie 	Standard de design	Standard de design	EPI par poste de travail	Structure fermée de galerie + Culture de prévention, promotion de la santé et hygiène	Certification pour l'utilisation de l'EPI, habilitation EPI	Structure fermée de galerie + Culture de prévention, promotion de la santé et hygiène	Non respect de la consigne	Distribution d'EPI appropriés par activité + utilisation	Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979		Actualisation des EPI et normes	Tout le personnel, sur les EPI	HAZMAT pour post-utilisation des EPI	Utilisation des EPI
2.2	<ul style="list-style-type: none"> Protocole de surveillance médicale (SM) du secteur minier (BU) Protocole de surveillance médicale (SM) du secteur minier (BU) Inclusion dans les sous-programmes médecine préventive + le système de rapport 	Inclusion dans les sous-programmes (médecine préventive, médecine curative, hygiène et sécurité industrielle)	Inclusion dans les sous-programmes médecine préventive + le système de rapport	Relation maladie du travail avec activité et conditions du travail	Culture de protection, rapport et promotion de la santé	Habilitation SM	Culture de protection, rapport et promotion de la santé	Non respect de la consigne	Prévention, contrôle et traitement du mineur	Résolution 2013 et 1016 de 1986 + Décret 614 de 1984		Actualisation du protocole + Sensibilisation + SM	Tout le personnel + famille	Information de prévention à la base	Diagnostic à temps et inclusion dans les interventions compensatoires
2.3	<ul style="list-style-type: none"> Systèmes d'information de la surveillance médicale « interne – nationale » (BU) Habilitation pour l'utilisation d'explosifs (BU) Habilitation pour l'utilisation de machines minières «véhicules minières, etc. » (BU) Habilitation électrique 	Inclusion dans les protocoles de tirs	Inclusion dans les protocoles d'opération	EPI pour l'équipe de soufflé	Culture de soufflé + structure fermée de la galerie	Habilitation et formation de l'équipe	Culture de soufflé + structure fermée de la galerie	Non respect de la consigne	Coopération internationale	Décret 1335 de 1987		Actualisation des protocoles	Sur le système régional	Confiance	Formation comme moyen de prévention
		Inclusion dans les protocoles d'opération	Inclusion dans les protocoles d'installation et de maintenance	EPI pour les travaux électriques	Structure fermée de la galerie + ATEX	Formation pour les travaux électriques	Structure fermée de la galerie + ATEX	Non respect de la consigne	Installation et maintenance des installations électriques	Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979		Actualisation des techniques	Les opérateurs des machines	Confiance	Formation comme moyen de prévention
		Inclusion dans les protocoles de maintenance	Inclusion dans les protocoles de maintenance	EPI pour les travaux électriques	Structure fermée de la galerie + ATEX	Habilitation et formation pour les travaux électriques	Structure fermée de la galerie + ATEX	Non respect de la consigne	Installation et maintenance des installations électriques	Décret 1335 de 1987		Actualisation des techniques	Les électriciens	Confiance	Formation comme moyen de prévention
		Inclusion dans les protocoles de maintenance	Inclusion dans les protocoles de maintenance	EPI pour les travaux électriques	Structure fermée de la galerie + ATEX	Habilitation et formation pour les travaux électriques	Structure fermée de la galerie + ATEX	Non respect de la consigne	Installation et maintenance des installations électriques	Loi 685 de 2001 + Loi		Actualisation des techniques	Les évaluateurs de	Confiance	Formation comme moyen de prévention

l'évaluation des dangers et risques (BU)	Formation pour l'utilisation des outils miniers (BU) Formation EPI (BU)	Inclusion dans les protocoles d'opération	EPI pour l'utilisation des outils miniers EPI didactiques	Formation pour l'évaluation des dangers et risques	Culture d'utilisation des outils Culture d'utilisation des EPI	Non respect de la consigne	Opération sûre des outils miniers Protection du personnel.	320 de 1996 + Décret 2053 de 1999 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Actualisation des techniques	Les opérateurs	Confiance	Formation comme moyen de prévention
Formation en systèmes et techniques d'audits (BU)	Inclusion dans les protocoles d'autorisation de travail	Inclusion dans les protocoles d'audits	EPI pour les audits	Formation pour les audits	Culture de surveillance	Non respect de la consigne	Vérification des consignes	Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Actualisation des techniques	Les surveillants	Confiance	Formation comme moyen de prévention
Formation premiers secours (BU)	Inclusion dans les protocoles de secours	Inclusion dans les protocoles de secours	EPI premiers secours	Habilitation et formation pour les premiers secours	Culture de secours	Non respect de la consigne	Sauvetage des vies et contrôle des accidents	Décret 1335 de 1987	Actualisation des techniques et simulation	Le personnel de secours	Confiance	Formation comme moyen de prévention
Formation à la survie minière (BU)	Inclusion dans les protocoles d'autorisation de travail	Inclusion dans les protocoles de survie minière	EPI de survie minière	Formation en l'évaluation de procédures	Culture de travail minier	Non respect de la consigne	Survie du mineur en cas d'accident	Décret 1335 de 1987	Actualisation des techniques et simulation	Les mineurs à haut risque	Confiance	Formation comme moyen de prévention
Formation travail en hauteur (BU)	Inclusion dans les protocoles d'opération	Inclusion dans les protocoles de travail en hauteur	EPI travail en hauteur	Formation en l'évaluation de protocoles	Culture de travail minier	Non respect de la consigne	Travail sûr	Décret 1335 de 1987	Actualisation des techniques et simulation	Les directeurs d'activité	Confiance	Réfection sur l'activité comme moyen de prévention
Formation en systèmes de détection et alarme (BU)	Inclusion dans les protocoles d'opération	Inclusion dans les protocoles de détection et alarme	EPI travail en hauteur	Formation en l'évaluation de protocoles	Culture de travail minier	Non respect de la consigne	Travail sûr	Décret 1335 de 1987	Actualisation des techniques et simulation	Personnel avec travail en hauteur	Confiance	Formation comme moyen de prévention
Formation au plan d'urgence (BU)	Inclusion dans les protocoles d'urgence	Inclusion dans les protocoles d'urgence	EPI d'urgence	Formation à l'évacuation d'urgence	Culture de travail minier	Non respect de la consigne	Prévention de ma détection et communication	Décret 1335 de 1987	Actualisation des techniques	Les évaluateurs de sécurité	Confiance	Formation comme moyen de prévention
Formation à l'incendie minier (BU)	Inclusion dans les protocoles d'urgence	Inclusion dans les protocoles d'urgence	EPI incendies	Formation des pompiers miniers	Culture de travail minier	Non respect de la consigne	Prévention et extinction de feux miniers	Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Actualisation des techniques et simulation	Tout le personnel	Sensation à la sûreté	Formation comme moyen de prévention
Formation en évaluation du poste de travail (BU)	Inclusion dans les protocoles de travail	Inclusion dans les protocoles de travail	EPI pour espaces confinés	Formation en ergonomie	Culture de travail minier	Non respect de la consigne	Design de postes ergonomiques	Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Actualisation des techniques	Les évaluateurs en hygiène du travail et les opérateurs	Confiance	Formation comme moyen de prévention
2.4 Structure fermée de la galerie	Géométrie du dépôt et physico-chimie du matériau	Géométrie du dépôt et physico-chimie du matériau	EPI pour espaces confinés	Habilitation pour le design et couvrage	Culture d'exploitation	Claustrophobie et désorientation	Protection de la vie en cas d'accident	Loi 685 de 2001	Actualisation des plans	Le système et sur l'exploitation	Allévation de la structure du média	Registres
Matériaux d'extraction	Géométrie du dépôt et physico-chimie du matériau	Géométrie du dépôt et physico-chimie du matériau	Relation EPI + matériaux	Maladies professionnelles liées aux matériaux	Culture d'exploitation	Evasion de consigne	Prévention et extinction de feux miniers	Loi 685 de 2001	Télésurveillance des matériaux dangereux associés	Le système de registre	Libération du matériau	Exposition aux dangers
Matériaux associés à l'extraction	Géométrie du dépôt et physico-chimie du matériau	Géométrie du dépôt et physico-chimie du matériau	Relation EPI + matériaux	Maladies professionnelles liées aux matériaux	Culture d'exploitation	Claustrophobie et désorientation	Design de postes ergonomiques	Loi 685 de 2001	Télésurveillance des matériaux dangereux associés	Le système de registre	Libération du matériau	Exposition aux dangers
Travail en espaces confinés (SC)	Conception des postes de travail	Conception des postes de travail	EPI pour espaces confinés	Formation aux espaces confinés	Culture d'exploitation	Claustrophobie et désorientation	Design de postes ergonomiques	Loi 685 de 2001	Télésurveillance des matériaux dangereux associés	Le système de registre	Réduction de la fonctionnalité	Exposition aux dangers

	Sensibilisation (BU) Analyse du REX (BU) Investigation des accidents (BU) Simulations (BU) Entraînement et préparation sur scénarios réels (BU) Permis de travail sûr (BU) Inspection et réparation (BU) Calibration (BU)	Cadre de base pour les procédés de sensibilisation REX pour la conception Protocole d'investigation Cadre de base pour la simulation et le rapport Guides de travail sûr Guides d'inspection Guides de maintenance et calibration des outils miniers	REX pour la ventilation	Sensibilisation EPI REX pour les EPI	REX surveillance médicale	Formation pour la sensibilisation Formation pour le REX Habilitation pour l'investigation Formation pour la simulation Habilitation pour l'évaluation et la sélection des scénarios	Culture organisationnelle Culture organisationnelle Culture organisationnelle Unification des procédures La population + Problématique socio économique de la zone + les medias Culture organisationnelle Culture organisationnelle Culture organisationnelle	Non respect de la consigne Non respect de la consigne Non respect de la consigne Non respect de la consigne Non respect de la consigne Non respect de la consigne Non respect de la consigne	Prévention Consignation REX + systématisation Consignation inv. + REX Comparabilité Prévention et préparation	Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979 Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979 Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979 Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Sensibilisation Récurrences Sensibilisation Rapport Actualisation	Le système minier Le système minier Le système national minier Le système national minier Le rapport à l'autorité territoriale Le système minier Le système minier Le système minier	Confiance Confiance Peur Confiance Vulnérabilité territoriale Confiance Confiance Confiance	
4	Ergonomie (BU + BT) Sécurité industrielle (BU + BT) Protection individuelle (BU + BT) Hygiène (BU + BT) Facteurs d'ambiance (BU + BT)	Guides techniques Guides techniques Guides techniques Guides techniques Guides techniques	REX pour la ventilation Permis de travail sûr les ventilations et les autres systèmes Inspection pour la ventilation Procédures d'opérativité et calibration de systèmes de ventilation	Sensibilisation EPI REX pour les EPI	REX surveillance médicale Inspection SM	Habilitation pour l'évaluation Habilitation et formation pour l'évaluation Habilitation et certification des EPI Habilitation et formation en l'hygiène Habilitation pour l'évaluation des facteurs d'ambiance	Culture organisationnelle Culture organisationnelle Culture organisationnelle Culture organisationnelle Structure fermée de la galerie	Non respect de la consigne Non respect de la consigne Non respect de la consigne Non respect de la consigne Non respect de la consigne	Prévention Prévention Prévention Prévention Prévention	Loi 685 de 2001 + Loi 320 de 1996 + Décret 2053 de 1999 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979 Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979 Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979 Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Actualisation des normes et guides Actualisation des normes et guides Actualisation des normes et guides Actualisation des normes et guides Actualisation des normes et guides	L'interphase homme-machine Les procédés Le personnel Le site La galerie	Confiance Confiance Confiance Confiance Confiance	
5	Accès libres à la mine et au chantier (BT) Issues de secours (BT) Accès du personnel (BT)	Guide d'ouvrage minier Guide pour le design des procédures d'urgence interne + Guide pour le design des plans d'aide mutuelle + Ressources minières nationales Guide technique de soutènement	REX pour la ventilation Permis de travail sûr les ventilations et les autres systèmes Inspection pour la ventilation Procédures d'opérativité et calibration de systèmes de ventilation	Sensibilisation EPI REX pour les EPI	REX surveillance médicale Inspection SM	Habilitation pour l'évaluation Habilitation et formation pour l'évaluation Habilitation et certification des EPI Habilitation et formation en l'hygiène Habilitation pour l'évaluation des facteurs d'ambiance	Culture organisationnelle Culture organisationnelle Culture organisationnelle Culture organisationnelle Structure fermée de la galerie	Non respect de la consigne Non respect de la consigne Non respect de la consigne Non respect de la consigne Non respect de la consigne	Prévention Prévention Prévention Prévention Prévention	Loi 685 de 2001 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979 Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979 Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Actualisation des normes et guides Actualisation des normes et guides Actualisation des normes et guides Actualisation des normes et guides Actualisation des normes et guides	Le site Le site + la région Le site + la mine	Paysage + Emission Emission Paysage	

	Isolations (BT)									Loi 685 de 2001		Le site	Paysage
	Stockage et balisage des déchets miniers (BT)	Guides techniques miniers		Pour l'opération des techniques	Problématique socio économique de la zone + POT Col.	La malveillance externe + les vols	Prévention + mitigation	Loi 685 de 2001	Surveillance des stockages (compatible + retard)	Le site	Paysage + Emission		
	Stockage et balisage des déchets miniers (BT)	Autorisation environnementale (avec unification de critères)	Guide de la ventilation minière	Pour l'opération des techniques	La géographie, la hydrologie et météorologie	Non respect du contrôle	Prévention et stockage	Loi 685 de 2001	Surveillance des stockages	Le site	Paysage + Emission		
	Appareillage et ouvrage pour le contrôle d'impact (BT)	Autorisation environnementale (avec unification de critères)	Guide de la ventilation minière	Pour le design	Les médias + les ressources	Non respect du contrôle	Mitigation	Loi 685 de 2001 + Protection Envi.	Surveillance émission	Le site + l'exploitation	Paysage + Emission		
	Appareillage et ouvrage pour le contrôle des dangers (BT)	Scénario de risque majeur probable		Pour le design	La population + Problématique socio économique de la zone + les médias		Mitigation	Loi 685 de 2001 + Protection Envi.	Surveillance des systèmes principaux et détection de feux ou fumées	Le site + l'exploitation	Paysage + Emission		
5.2	Poissabilité « physicochimique, microbiologique et organoleptique » (BU + BT)	Limites de poissabilité + autorisation environnementale (avec unification de critères)		Pour le design + Pour l'opération des techniques	La population + Problématique socio économique de la zone + les médias	Non respect du contrôle	Consigne de protection environnementale (BU)						
	Pollution procédé (cyanure, métaux, produits chimiques, hydrocarbures, etc.)	Limites d'émission de polluants + autorisation Programme d'hygiène environnementale (avec unification de critères)	Limites d'émission de polluants	Pour le design + Pour l'opération des techniques	La population + Problématique socio économique de la zone + les médias	Non respect du contrôle	Consigne de protection environnementale (BU)						
	Pollution utilités (cyanure, métaux, produits chimiques, hydrocarbures, etc.)	Limites d'émission de polluants + autorisation Programme d'hygiène environnementale (avec unification de critères)	Limites d'émission de polluants	Pour le design + Pour l'opération des techniques	La population + Problématique socio économique de la zone + les médias	Non respect du contrôle	Consigne de protection environnementale (BU)						
	Matériaux pulvéreux	Limites d'émission de polluants + autorisation Programme d'hygiène environnementale (avec unification de critères)	Limites d'émission de polluants	Pour le design + Pour l'opération des techniques	La population + Problématique socio économique de la zone + les médias	Non respect du contrôle	Consigne de protection environnementale (BU)						
	Radon	Limites d'émission de polluants + autorisation Programme d'hygiène environnementale (avec unification de critères)	Limites d'émission de polluants	Pour le design + Pour l'opération des techniques	La population + Problématique socio économique de la zone + les médias	Non respect du contrôle	Consigne de protection environnementale (BU)						
	Bruit + Vibration	Limites d'émission et exposition + autorisation Programme d'hygiène environnementale (avec unification de critères)		Pour le design + Pour l'opération des techniques	La population + Problématique socio économique de la zone + les médias	Non respect du contrôle	Consigne de protection environnementale (BU)						

Odeurs	Limites d'émission de mauvaises odeurs + autorisation environnementale (avec unification de critères)	Limites d'émission de polluants + autorisation environnementale (avec unification de critères)	Limites d'émission de mauvaises odeurs	Pour le design + Pour l'opération des techniques	La population + Problématique socio économique de la zone + les medias	Non respect du contrôle	Consigne de protection environnementale (BU)	Loi G85 de 2001 + Protection environnementale				
Déchets miniers	Limites d'émission de mauvaises odeurs + Programme d'hygiène + autorisation environnementale (avec unification de critères)	Limites d'émission de polluants + Programme d'hygiène + autorisation environnementale (avec unification de critères)		Pour le design + Pour l'opération des techniques	La population + Problématique socio économique de la zone + les medias	Non respect du contrôle	Consigne de protection environnementale (BU)					
Déchets technologiques	Autorisation environnementale (avec unification de critères)			Pour le design + Pour l'opération des techniques	La population + Problématique socio économique de la zone + les medias	Non respect du contrôle	Consigne de protection environnementale (BU)					
Déchets biologiques	Limites d'émission de polluants + Programme d'hygiène + autorisation environnementale (avec unification de critères)		Limites d'émission	Pour le design + Pour l'opération des techniques	La population + Problématique socio économique de la zone + les medias	Non respect du contrôle	Consigne de protection environnementale (BU)					
Déchets d'entretien des appareillages	Limites d'émission de polluants + Programme d'hygiène + autorisation environnementale (avec unification de critères)		Limites d'émission	Pour le design + Pour l'opération des techniques	La population + Problématique socio économique de la zone + les medias	Non respect du contrôle	Consigne de protection environnementale (BU)					
Déchets chimiques	Limites d'émission de polluants + Programme d'hygiène + autorisation environnementale (avec unification de critères)			Pour le design + Pour l'opération des techniques	La population + Problématique socio économique de la zone + les medias	Non respect du contrôle	Consigne de protection environnementale (BU)					
Facteurs d'ambiances	Explosion	Limites d'émission de polluants + Programme d'hygiène			Structure fermée de la galerie	Non respect du contrôle	Consignes de protection du voisinage (BU) Consigne de protection environnementale (BU)					
Facteurs psychosociaux	Guide d'impact socio-économique				Condition socio-économique de base	Non respect du contrôle	Consignes de protection du voisinage (BU) Consigne de protection environnementale (BU)					
Facteurs socio-économiques		Guide d'impact socio-économique			Condition socio-économique de base	Non respect du contrôle	Consignes de protection du voisinage (BU) Consigne de protection environnementale (BU)					

TABLEAU C		PHASE DE VIE		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal	
Qualification des barrières		Après mine		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal	
SCENARIO		TYPES DE BARRIERES		BT : Barrière Technologique		BU : Barrière d'Utilisation		FN : Fonctionnement		IN : Incident		FN => étude d'impact		IN => étude de danger		FN => étude d'impact		IN => étude de danger		FN => étude d'impact	
Effondrement		Effondrement		Effondrement		Effondrement		Effondrement		Effondrement		Effondrement		Effondrement		Effondrement		Effondrement		Effondrement	
N°	Barrières	Scénario	Conception	Ventilation	Protection individuelle	Surveillance médicale	Formation, habilitation	Facteurs d'ambiance	Comportement humain	Consignes, consignations, procédures	Réglementation	Télesurveillance	Maintenance	Implantation	Effer sur environnement	Retour d'expérience					
1	MODULES DE CONCEPTION	Effondrement	Guides pour l'étude d'impact				Pour l'évaluation	Zones de réserves nouvelles et ressources	Opposition	Diagnostic initial + étude d'impacts	Loi 685 de 2001 + Les guides environnementaux	Qualité des médias	Rapport périodique à l'autorité env.	Groupes spécialisés	Diagnostic	Positif					
1.1	Etude de dangers (BU)	Effondrement	Scénario de risque majeur probable et son contrôle	Evaluation des systèmes de ventilation	Evaluation des EPI	Evaluation de risque de maladie professionnelle	Pour l'évaluation	Utilisation du territoire	Opposition	Identification des dangers et évaluation des risques majeurs	Loi 685 de 2001 + Loi 320 de 1996 + Décret 2053 de 1999 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Risque Majeur	Rapport périodique à l'autorité env + Normalisation	Groupes spécialisés	Protection des cibles	Positif (a posteriori)					
	Etude sur le lieu de travail (environnement + santé) (BU)		Limites d'émission de polluants	Evaluation des systèmes de ventilation	Evaluation des EPI	Toxicité	Habilitation + Formation aux limites d'exposition	Structure fermée + évolution des travaux	Non respect de la consigne	Détermination d'exposition pour la détermination des EPI et protection collective	Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Détection de HHP	Actualisation des listes et valeurs	Sur le système de gestion SSE	Diagnostic	Positif (a posteriori)					
	Guide du travail mineur (BU)		Guide technique de sélection d'abattage	Ventilation lors de l'abattage	EPI abattage + Sécurité Industrielle	Association de maladies professionnelles avec les techniques	Habilitation pour le design	Structure fermée de la galerie + géologie	Non respect de la consigne	Design des endroits sûrs pour l'abattage	Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Design des niveaux de télé-contrôle	Actualisation des guides	Sur le système de gestion SSE + la machine	Protection	Positif (a posteriori)					
	Protections individuelles		Guide technique de protection individuelle	Evaluation de ventilation naturelle	Normalisation des EPI	Association de maladies professionnelles avec les polluants	Pour la certification	Structure fermée de la galerie + géologie	Non respect de la consigne	Protection de la personne	Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Télé-contrôle et surveillance	Actualisation des EPI et normes	Sur les EPI + le système SSE	Production de HAZMAT	Positif (a posteriori)					
	Arrêt partiel ou total de l'exploitation		Programmation de travail mineur et d'ouvrage	Design de ventilation en exploitation	EPI arrêt	Association de maladies post exploitation avec les polluants et l'ouvrage	Habilitation pour l'évaluation + Habilitation pour le design	Géologie + usage du territoire + techniques de fermeture et exploitation	Non respect de la consigne + Facteurs socio-économiques + Facteurs culturels	Fermeture sûre pour la protection des cibles	Loi 685 de 2001 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979		Actualisation des normes et guides	Sur l'ouvrage d'arrêt + Le système de SSE	Production de déchets d'ouvrage + modification des médias (paysage...)	Positive (a posteriori)					
	Ventilation et climatisation		Guide technique de ventilation et climatisation	Relation ventilation - soutènement	EPI arrêt	Association de maladies professionnelles avec les techniques	Habilitation pour le design	Géologie + structure fermée de la galerie	Non respect de la consigne	Assurer les bonnes conditions d'aération dans la mine	Décret 1335 de 1987		Actualisation des normes et guides	Sur le système de gestion SSE + la machine	Emissions fixes						
	Soutènement		Guide technique de soutènement	Relation ventilation - pompage	EPI soutènement + sécurité industrielle	Association de maladies professionnelles avec les techniques	Habilitation pour le design	Géologie + charge anthropique + techniques d'ouvrage et exploitation	Non respect de la consigne	Assurer la stabilité de l'ouvrage	Décret 1335 de 1987		Actualisation des normes et guides	Sur le système de gestion SSE + l'ouvrage	Espaces vides dans le sous-sol	Effondrement + chute de matériau					
	Pompage		Guide technique de pompage	Relation ventilation - pompage	EPI soutènement + sécurité industrielle	Association de maladies professionnelles avec les techniques	Habilitation pour le design	Géologie + usage du territoire + structure fermée de la galerie	Non respect de la consigne	Assurer la stabilité de l'ouvrage	Décret 1335 de 1987	Télé-contrôle et surveillance	Actualisation des normes et guides	Sur le système de gestion SSE + le pompage	Des eaux de pompage miner le sous-sol	Effondrement + chute de matériau + pollution					
	Eclairage et électricité		Guide technique d'éclairage et électricité	La ventilation source d'énergie statique	EPI électrique + sécurité industrielle	Association de maladies professionnelles avec les techniques	Habilitation pour le design	Géologie + structure fermée de la galerie + humidité	Non respect de la consigne	Assurer l'éclairage	Décret 1335 de 1987	Télé-contrôle et surveillance	Actualisation des normes et guides	Sur le système de gestion SSE + l'éclairage personnel et commune	Systèmes de potence + Polluants associés + Déchets HAZMAT	Electrocutions					

	• Energie statique	Guide technique d'énergie statique		Habilitation pour le design	Géologie + usage du territoire + structure fermée de galerie	Non respect de la consigne	Assurer le contrôle de l'énergie statique	Décret 1335 de 1987	Télé surveillance des données	Actualisation des normes et guides	Sur le système de gestion SSE + les machines	Charges parasites	Sources d'ignition
	<ul style="list-style-type: none"> • Système d'information minier • Hygiène et protection environnementale • Plan d'urgence interne • Plan d'aide mutuelle • Communication de risques 	<p>Guide technique de systèmes + rapport minier</p> <p>Programme d'hygiène + autorisation environnementale (avec unification de critères)</p> <p>Guide pour le design des procédures d'urgence interne</p> <p>Guide pour le design des plans d'aide mutuelle</p> <p>Guide pour le design des instruments par la communication de risques</p>	<p>Registre minier des accidents et les maladies prof.</p> <p>Programme de médecine préventive</p> <p>Programme de médecine du travail</p> <p>Programme d'Hygiène et Sécurité Industrielle</p> <p>Comité paritaire de santé au travail</p> <p>Protocole de premiers secours</p> <p>Protocole de surveillance médicale des accidents majeurs</p> <p>Protocole de surveillance sociale</p>	<p>Habilitation pour le design et registre</p> <p>Habilitation pour le design et registre</p> <p>Habilitation et formation pour le secours</p> <p>Habilitation et formation pour le réseau. Certification du plan</p> <p>Pour la communication des risques</p>	<p>Géologie + usage du territoire + structure fermée de galerie</p> <p>Géologie + usage du territoire + promotion de la santé et hygiène</p> <p>Géologie + usage du territoire + structure fermée de galerie + météorologie + disponibilité de ressources</p> <p>Géologie + utilisation du territoire + structure fermée de galerie + météorologie + disponibilité de ressources externes</p> <p>Utilisation du territoire + groupes ethniques</p>	<p>Non utilisation du registre</p> <p>Non respect de la consigne</p> <p>Non respect des consignes</p> <p>Aide mutuelle</p> <p>Non respect des consignes</p> <p>Non respect des consignes</p> <p>Information et discussion des risques associés à l'exploitation minière</p>	<p>Systematisation et analyse de données minières</p> <p>Protection de la population et de l'environnement</p> <p>Contrôle de l'ENS et secours minier</p> <p>Aide mutuelle</p>	<p>Loi 085 de 2001</p> <p>Résolution 2013 et 1016 de 1986 + Décret 614 de 1984</p> <p>Décret 1335 de 1987</p> <p>Décret 1335 de 1987</p> <p>Décret 1335 de 2001</p>	<p>Télé surveillance des données</p> <p>Télé surveillance des données</p> <p>Télé surveillance météorologique</p> <p>Télé surveillance du réseau d'aide mutuel</p> <p>Simulation</p> <p>Simulation</p>	<p>Exploitation et actualisation</p> <p>Exploitation et actualisation</p> <p>Simulation</p> <p>Simulation</p> <p>Simulation</p>	<p>Sur le système de gestion SSE + les machines</p> <p>Sur le système de gestion SSE + les machines + sur le système d'information minier et environnemental</p> <p>Sur le système de gestion minier + sur le système national d'information minier et environnemental</p> <p>Sur tout le personnel de mine et le personnel de secours</p> <p>Sur le personnel local du réscau</p> <p>Sur la population et le responsable de communication</p>	<p>Création d'un modèle</p> <p>Création d'un modèle</p> <p>Stress régional</p> <p>Stress régional</p> <p>Stress régional</p>	<p>Evaluation du potentiel minier et projection</p> <p>Evaluation des barrières pour la protection du personnel et de l'environnement</p> <p>Protocoles et techniques de sauvetage</p> <p>Protocoles et plans d'aide mutuelle</p> <p>Res. Care + CLIC</p> <p>Haut nombre des accidents et incidents</p> <p>Haut nombre des accidents et incidents</p> <p>Anoxic, ATEX, radon</p> <p>ATEX, maladies respiratoires</p>
1.2	<ul style="list-style-type: none"> • Guide du travail minier • Techniques de ventilation et climatisation • Ventilation en maintenance • Etude de la ventilation naturelle après exploitation • Contrôle de la poussière 	<p>Standard de design</p> <p>Standard de design</p> <p>Standard de design</p> <p>Standard de design</p> <p>Standard de design</p>	<p>Manque d'oxygène</p> <p>Manque d'oxygène</p>	<p>Habilitation pour le design + Formation pour l'opération</p> <p>Formation pour la manutention</p> <p>Habilitation pour le design</p> <p>Habilitation pour le design + Formation pour l'opération</p>	<p>Géologie + structure fermée de galerie</p> <p>Géologie + structure fermée de galerie</p> <p>Géologie + usage du territoire + structure fermée de galerie</p> <p>Géologie + structure fermée de galerie</p>	<p>Non respect de la consigne</p> <p>Non respect de la consigne</p> <p>Non respect de la consigne</p> <p>Non respect de la consigne</p>	<p>Assurer les bonnes conditions d'atrage dans la mine</p> <p>Assurer l'opérativité des équipes de ventilation et travail sur</p> <p>Fermeture sûre de la mine</p> <p>Assurer les bonnes conditions d'atrage dans la mine + contrôle de dispersion de la poussière</p>	<p>Décret 1335 de 1987</p> <p>Décret 1335 de 1987</p> <p>Décret 1335 de 1987</p> <p>Décret 1335 de 1987</p> <p>Décret 1335 de 1987</p>	<p>Télé-surveillance et surveillance</p> <p>Télé-détection des gaz explosifs au oxygène</p> <p>Actualisation des normes et guides + Surveillance</p> <p>Actualisation des normes et guides + Surveillance</p> <p>Actualisation des normes et guides + Surveillance</p>	<p>Actualisation des normes et guides + Surveillance</p> <p>Actualisation des normes et guides + Surveillance</p> <p>Actualisation des normes et guides + Surveillance</p> <p>Actualisation des normes et guides + Surveillance</p>	<p>Sur le système de gestion SSE + la machine</p> <p>Sur le système de gestion SSE + la machine + le groupe de maintenance</p> <p>Sur la procédure de fermeture de la mine</p> <p>Sur le système de gestion SSE + la machine</p>	<p>Emission fixe des polluants</p> <p>HAZMAT de maintenance</p> <p>Emission fixe des polluants</p> <p>Emission fixe des polluants</p>	<p>Haut nombre des accidents et incidents</p> <p>Haut nombre des accidents et incidents</p> <p>Anoxic, ATEX, radon</p> <p>ATEX, maladies respiratoires</p>
2	MODULES												

	CONCERNANT LE PERSONNEL	ement	Standard de design		EPI pour poste de travail		Habilitation pour l'utilisation d'EPI	Structure fermée de galerie + Culture de prévention, promotion de la santé et hygiène	Non respect de la consigne	Donner les EPI appropriés pour l'activité	Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979		Actualisation des EPI et normes	Tout le personnel, sur les EPI	HAZMAT pour post-utilisation des EPI	Utilisation des EPI	
2.1	Guide du travail minier : protections individuelles « EPI » (BU) Norme de conception des EPI (BU)-FD: • Respiratoire • Auditive • Faciale • Tête • Antichute • Corps • Main • Pieds	Effondrement					Certification pour la fabrication d'EPI	Structure fermée de galerie + Culture de prévention, promotion de la santé et hygiène	Non respect de la consigne								
2.2																	
2.3	Habilitation à l'évaluation des dangers et risques après mine (BU) Formation EPI (BU) Formation premiers secours (BU) Formation à la survie minière (BU) Formation travail en hauteur (BU) Formation en systèmes de détection et alarme (BU) Formation au plan d'évacuation d'urgence (BU) Formation à l'incendie minier (BU)	Effondrement	Inclusion dans les autorisations d'évaluation Inclusion dans les protocoles de travail Inclusion dans les protocoles de secours Inclusion dans les protocoles d'autorisation de travail Inclusion dans les protocoles d'opération Inclusion dans les protocoles d'opération Inclusion dans les protocoles d'urgence Inclusion dans les protocoles d'urgence	EPI pour l'évaluation des dangers et risques EPI didactiques EPI premier secours EPI de survie minière EPI travail en hauteur EPI d'urgence EPI d'incendies	Habilitation et formation pour l'évaluation des dangers et risques Formation et habilitation Habilitation et formation pour les premiers secours Formation à la survie minière Formation de travail en hauteur Formation aux systèmes de détection et alarmes Formation à l'évacuation d'urgence Formation des pompiers mineurs	Moyens d'habilitation et formation Culture d'utilisation des EPI Culture de secours Culture de travail minier Culture de travail minier	Non respect de la consigne Non respect de la consigne Non respect de la consigne Non respect de la consigne Non respect de la consigne Non respect de la consigne	Évaluation de la sécurité durant toutes les phases d'exploitation Protection du personnel Sauvantage des vies et contrôle des accidents Survie du mineur en cas d'accident Travail sûr Prévention pour la détection et la communication Protection de la vie en cas d'accident Prévention et extinction de feux miniers	Loi 685 de 2001 + Décret 320 de 1996 + Décret 2053 de 1999 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979 Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979 Décret 1335 de 1987 Décret 1335 de 1987 Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Actualisation des techniques Actualisation des techniques et simulation Actualisation des techniques et simulation Actualisation des techniques et simulation Actualisation des techniques et simulation Actualisation des techniques et simulation Actualisation des techniques et simulation	Les évaluateurs des dangers et risques Tout le personnel Le personnel de secours Les mineurs à haut risque Personnel avec travail en hauteur Les évaluateurs de sécurité Tout le personnel Les pompiers	Confiance Confiance Confiance Confiance Confiance Sensation de sûreté Sensation de sûreté	Formation comment moyen de prévention Formation comment moyen de prévention Formation comment moyen de prévention Formation comment moyen de prévention Formation comment moyen de prévention Formation comment moyen de prévention Formation comment moyen de prévention	Pas de registre Exposition aux dangers Exposition aux dangers			
2.4	Structure fermée de la galerie Matériaux d'extraction Matériaux associés à l'extraction	Effondrement	Géométrie du dépôt et physicochimie du matériau Géométrie du dépôt et physicochimie du matériau Géométrie du dépôt et physicochimie du matériau	EPI pour espaces confinés Relation EPI + matériau Relation EPI + matériau	Habilitation pour le design et couvrage Association de professionnelles avec les matériaux Association de professionnelles avec les matériaux	Culture d'exploitation	Claustrophobie et désorientation			Télésurveillance matériaux dangereux associés Télésurveillance matériaux dangereux associés	Loi 685 de 2001 Loi 685 de 2001 Loi 685 de 2001	Actualisation des plans Télésurveillance matériaux dangereux associés Télésurveillance matériaux dangereux associés	Sur le système et sur l'exploitation Sur le système de registre Sur le système de registre	Allération structure du média Libération du matériau Libération du matériau	Pas de registre Exposition aux dangers Exposition aux dangers		

	Travail en espaces confinés (SC)	Conception des postes de travail	EPH + système de ventilation climatisation	EPH pour espaces confinés	Association de maladies professionnelles (SC)	Formation dans espaces confinés	Culture d'exploitation	Claustrophobie et désorientation			Réduction de la fonctionnalité	Exposition aux dangers
2.5	Obscurité	Conception des postes de travail (guides)		EPI éclairage	Association de maladies professionnelles avec obscurité	Formation au travail dans l'obscurité	Culture d'exploitation	Mauvaise vision et désorientation			Réduction de la fonctionnalité	Exposition aux dangers
	Températures extrêmes et humidités	Guide technique de ventilation et climatisation		EPI température extrême et humidité	Association de maladies professionnelles avec températures extrêmes et humidité	Formation aux températures extrêmes	Culture d'exploitation	Suffocation et fatigue			Réduction de la fonctionnalité	Exposition aux dangers
	Panique	Guides de design						Non respect de consigne			Réduction de la fonctionnalité	
	Désorientation	Guides de design						Non respect de consigne			Réduction de la fonctionnalité	
	Malveillance	Guides de design						Non respect de consigne			Réduction de la fonctionnalité	
	Bagareur	Guides de design						Non respect de consigne			Réduction de la fonctionnalité	
	Vol	Guides de design						Non respect de consigne			Réduction de la fonctionnalité	
	Curiosité	Guides de design						Non respect de consigne			Réduction de la fonctionnalité	
3	MODULES TECHNIQUE ET REGLEMENTAIRE											
3.1	Consignes en cas d'arrêt partiel ou total de la production (BU)	Obligation légale	Ventilation +			Habilitation pour l'écriture de consignes	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne		Loi 685 de 2001 + Loi 320 de 1996 + Décret 2053 de 1999 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Sur le système de gestion	
	Consignes de surveillance (BU)	Obligation légale	Ventilation + surveillance de gaz			Habilitation pour l'écriture de consignes	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne		Loi 685 de 2001 + Loi 320 de 1996 + Décret 2053 de 1999 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Sur le système de gestion	
	Consignes après opération (BU)	Obligation légale				Habilitation pour l'écriture de consignes	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne		Loi 685 de 2001 + Loi 320 de 1996 + Décret 2053 de 1999 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Sur le système de gestion	
	Consignes d'investigation « post incident ou accident » (BU)	Obligation légale				Habilitation pour l'écriture de consignes	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne		Loi 685 de 2001 + Loi 320 de 1996 + Décret 2053 de 1999 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Sur le système de gestion	
	Consignes de protection du personnel (BU)	Obligation légale		Programme EPI	Rapport d'accident et communication à l'autorité	Habilitation pour l'écriture de consignes	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne		Loi 685 de 2001 + Loi 320 de 1996 + Décret 2053 de 1999 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979	Sur le système de gestion	

3.2	<p>Consignes de protection de l'infrastructure (BU)</p> <p>Consignes de protection du voisinage (BU)</p> <p>Consigne de protection environnementale (BU)</p> <p>Consignation sur le système d'information (BU)</p> <p>Compte rendu de consignation (BU)</p>	<p>Obligation légale</p> <p>Obligation légale</p> <p>Obligation légale</p> <p>Consignation dans la loi</p> <p>Consignation dans la loi</p>	<p>Surveillance de gaz</p> <p>Ventilation + surveillance de gaz</p>	<p>Audit EPI</p> <p>Audit EPI</p>	<p>Audit SM</p> <p>Inspection des SM</p>	<p>Habilitation pour l'écriture de consignes</p> <p>Habilitation pour l'écriture de consignes</p> <p>Habilitation pour l'écriture de consignes</p> <p>Habilitation pour l'écriture de consignes</p> <p>Habilitation pour l'écriture de consignes</p>	<p>Culture organisationnelle</p> <p>Culture organisationnelle</p> <p>Culture organisationnelle</p> <p>Culture organisationnelle</p> <p>Culture organisationnelle</p>	<p>Non respect de la consigne</p> <p>Evasion de la consigne</p> <p>Non respect de la consignation</p> <p>Non respect de la consignation</p> <p>Non respect de la consignation</p>	<p>320 de 1996 + Décret 2053 de 1999 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979</p> <p>Loi 685 de 2001 + Loi 320 de 1996 + Décret 2053 de 1999 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979</p> <p>Loi 685 de 2001 + Loi 320 de 1996 + Décret 2053 de 1999 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979</p> <p>Loi 685 de 2001 + Loi 320 de 1996 + Décret 2053 de 1999 + Décret 1335 de 1987 + Décret 1220 de 2005</p> <p>Loi 685 de 2001 + Loi 320 de 1996 + Décret 2053 de 1999 + Décret 1335 de 1987 + Décret 1220 de 2005</p>	<p>Sur le système de gestion</p> <p>Sur le système de gestion</p> <p>Sur le système et sur l'exploitation</p> <p>Sur le système et sur l'exploitation</p> <p>Sur le système et sur l'exploitation</p>	<p>Réurrences</p> <p>Réurrences</p>	<p>Confiance</p> <p>Confiance</p>
3.3	<p>Audits (interne - externe) (BU)</p> <p>Inspections (BU)</p>	<p>Code minier</p> <p>Acceptation des conventions 174 et 181 de l'OIT</p> <p>Promulgation des conventions 174 et 181</p> <p>Réglementation pour la sécurité minière</p> <p>Déterminations des bases pour le système de santé au travail</p> <p>Réglementation du comité de médecine, hygiène et sécurité industrielle</p> <p>Réglementation des programmes de santé au travail</p> <p>Normes générales associées aux risques physiques, chimiques et biologiques</p> <p>Réglementation des études d'impact environnemental</p> <p>Guides d'audit</p> <p>Guides d'inspection</p>	<p>Audit ventilation</p> <p>Inspection de ventilation</p>	<p>Audit EPI</p> <p>Inspection des EPI</p>	<p>Audit SM</p> <p>Inspection des SM</p>	<p>Habilitation audit</p> <p>Habilitation pour l'inspection</p>	<p>Culture organisationnelle</p> <p>Culture organisationnelle</p>	<p>Non respect de la consigne</p> <p>Non respect de la consigne</p>	<p>Loi 685 de 2001 + Résolution 1016 de 1989</p> <p>Résolution 1016 de 1989</p>	<p>Sur le système minier</p> <p>Sur le système minier</p>	<p>Réurrences</p> <p>Réurrences</p>	<p>Confiance</p> <p>Confiance</p>

	Procédure de travail sûres (BU)	Guides de travail sûr pour activité	Procédure de travail sûr sur le système de ventilation	EPI pour les procédures de travail sûr	Profil de savoir faire pour activité	Formation pour l'écriture de procédures	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne	Prévention	Résolution 1016 de 1989	Réurrences	Sur le système minier	Confiance
	Certification du savoir faire (BU)	Profil de savoir faire pour activité	Profil de savoir faire pour activité	Profil de savoir faire pour activité	Profil de savoir faire pour activité	Habilitation pour l'écriture de procédures	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne	Prévention	Résolution 1016 de 1989	Validation	Sur le système minier	Confiance
	Habilitation des inspecteurs (BU)	Standards minimaux pour l'habilitation des inspecteurs miniers	Standards minimaux pour la désignation d'expert			Habilitation des inspecteurs	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne	Comparabilité		Validation	Sur la personne	Confiance
	Expert minier (BU)	Standards minimaux pour la désignation d'expert				Habilitation d'expert	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne	Prévention		Validation	Sur le système minier	Confiance
	Simulation (BU)	Cadre de base pour la simulation et rapport				Formation pour la simulation	Unification des procédures	Non respect de la consigne	Comparabilité	Résolution 1016 de 1989	Rapport	Sur le système minier	Confiance
	Sensibilisation (BU)	Cadre de base pour la sensibilisation				Formation pour la sensibilisation	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne	Prévention	Résolution 1016 de 1989	Sensibilisation	Sur le système minier	Confiance
3.4													
3.5	Sensibilisation (BU)	Cadre de base pour la sensibilisation		Sensibilisation EPI	Sensibilisation	Formation pour la sensibilisation	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne	Prévention		Sensibilisation	Sur le système minier	Confiance
	Analyse du REX (BU)	REX pour la conception	REX pour la ventilation	REX pour les EPI	REX surveillance médicale	Formation pour REX	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne	Consignation REX + systematisation	Décret 1335 de 1987	Réurrences	Sur le système minier	Confiance
	Investigation des accidents (BU)	Protocole d'investigation				Habilitation pour l'investigation	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne	Consignation inv. + REX		Sensibilisation	Sur le système national minier	Peur
	Simulations (BU)	Cadre de base pour la simulation et rapport				Formation pour la simulation	Unification des procédures	Non respect de la consigne	Comparabilité		Rapport	Sur le système national minier	Confiance
	Entraînement et préparation sur scénarios réels (BU)					Habilitation pour l'évaluation et la sélection des scénarios	La population + Problématique socio économique de la zone + les médias	Non respect de la consigne	Prévention et préparation		Actualisation	Sur le rapport à l'autorité	Vulnérabilité territoriale
	Permis de travail sûr (BU)	Guides de travail sûr	Permis de travail sûr sur les systèmes de ventilation	EPI pour le permis de travail sûr	EPI pour le permis de travail sûr	Formation pour l'obtention du permis	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne	Prévention	Résolution 1016 de 1989	Réurrences	Sur le système minier	Confiance
	Inspection et réparation (BU)	Guides d'inspection	Inspection pour la ventilation	Inspection pour les EPI	Inspection SM	Formation pour l'inspection	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne	Prévention	Résolution 1016 de 1989	Réurrence	Sur le système minier	Confiance
4	MODULES DES POSTES DE TRAVAIL												
4.1	Ergonomie (BU + BT)	Guides techniques			Guides SM associant l'ergonomie	Habilitation pour l'évaluation	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne	Prévention		Actualisation des normes et guides	Sur l'interface homme-machine	Confiance
	Sécurité industrielle (BU + BT)	Guides techniques				Habilitation et formation pour l'évaluation	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne	Prévention	Loi 685 de 2001 + Loi 320 de 1996 + Décret 2053 de 1999 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 1016 de 1989	Actualisation des normes et guides	Sur les procédés	Confiance
	Protections individuelles (BU + BT)	Guides techniques		Guides pour les EPI		Habilitation et certification des EPI	Culture organisationnelle	Non respect de la consigne	Prévention	Décret 1335 de 1987 + Résolution 1016 de 1989	Actualisation des normes et guides	Sur le personnel	Confiance
	Hygiène (BU + BT)	Guides techniques	Guides pour la ventilation	Guides pour les EPI		Habilitation et formation en hygiène	Culture organisationnel	Non respect de la consigne	Prévention	Décret 1335 de 1987 + Résolution 1016 de 1989	Actualisation des normes et guides	Sur le site	Confiance

	Facteurs d'ambiance (BU + BT)	Effondrement	Guides techniques	Guides pour la ventilation et climatisation	EPI pour le secours	Habitatation à l'évaluation des facteurs d'ambiance	Structure fermée de la galerie	Non respect de la consigne	Prévention	Décret 1335 de 1987 + Résolution 1016 de 1989	Actualisation des normes et guides	Sur la galerie	Confiance	
5	MORUELS CONCERNANT LE CHAMP SPECIFIQUE ET L'ENVIRONNEMENT Accès libres à la galerie et au chantier (BT) Issues de secours (BT) Accès du personnel (BT) Isolations (BT) Stockage et balisage des déchets miniers (BT) Appareillage et ouvrage pour le contrôle d'impact (BT) Appareillage et ouvrage pour le contrôle de danger (BT)	Effondrement Effondrement	Guides techniques Guide d'ouvrage minier Guide pour le design des procédures d'urgence interne + Guide pour le design des plans d'aide mutuelle + Ressources ministères nationale Guide technique de soutènement Guide d'ouvrage minier Autorisation environnementale (avec unification de critères) Autorisation environnementale (avec unification de critères) Scénario de risque majeur probable	Guides pour la ventilation et climatisation Guide de ventilation minier Guide de ventilation minier Guide de ventilation minier	EPI pour le secours	Habitatation à l'évaluation des facteurs d'ambiance Pour le design Pour le design + pour le secours Pour le design Pour l'opération des techniques Pour l'opération des techniques	Structure fermée de la galerie La géographie et hydrologie La culture minière Problématique socio économique de la zone + POT Col. La géographie, la hydrologie et météorologie Les médias + les ressources La population + Problématique socio économique de la zone + les médias	Non respect de la consigne Libre accès Prévention et secours Libre accès Prévention + mitigation Prévention et contention Contention et mitigation Contention et mitigation	Prévention Libre accès Prévention et secours Libre accès Prévention + mitigation Prévention et contention Contention et mitigation Contention et mitigation	Décret 1335 de 1987 + Résolution 1016 de 1989 Loi 685 de 2001 Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979 Loi 685 de 2001 Loi 685 de 2001 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979 Loi 685 de 2001 Loi 685 de 2001 Loi 685 de 2001 + Protection Envi. Loi 685 de 2001 + Protection Envi.	Actualisation des normes et guides Contrôle d'accès Surveillance de stockage Surveillance de stockage Surveillance de stockage Surveillance de systèmes principaux et détection de feu au fumes	Sur la galerie Sur le site Sur le site + la région Sur le site + sur la mine Sur le site Sur le site Sur le site Sur le site + sur l'exploitation	Confiance Paysage + Emission Emission Paysage Paysage + Emission Paysage + Emission Paysage + Emission Paysage + Emission	
5.2	Pollution procédée (cyanure, métaux, produits chimiques, hydrocarbures, etc.) Pollution utilities (cyanure, métaux, produits chimiques, hydrocarbures, etc.) Matériaux pulvérulents Radon Bruit + Vibration	Effondrement Effondrement	Limites d'émission de polluants + programme d'hygiène + autorisation environnementale (avec unification de critères) Limites d'émission de polluants + programme d'hygiène + autorisation environnementale (avec unification de critères) Limites d'émission de polluants + programme d'hygiène + autorisation environnementale (avec unification de critères) Limites d'émission de polluants + programme d'hygiène + autorisation environnementale (avec unification de critères) Limites d'émission et	Limites d'émission de polluants Limites d'émission de polluants Limites d'émission de polluants Limites d'émission de polluants		Habitatation à l'évaluation des facteurs d'ambiance Pour le design + Pour l'opération des techniques Pour le design + Pour l'opération des techniques Pour le design + Pour l'opération des techniques Pour le design +	Structure fermée de la galerie La population + Problématique socio économique de la zone + les médias La population + Problématique socio économique de la zone + les médias La population + Problématique socio économique de la zone + les médias La population +	Non respect de la consigne Perte du contrôle Perte du contrôle Perte du contrôle Perte du contrôle Perte du contrôle	Prévention Consigne de protection environnementale (BU) Consigne de protection environnementale (BU) Consigne de protection environnementale (BU) Consigne de protection environnementale (BU) Consigne de	Décret 1335 de 1987 + Résolution 1016 de 1989 Loi 685 de 2001 Loi 685 de 2001 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979 Loi 685 de 2001 Loi 685 de 2001 + Décret 1335 de 1987 + Résolution 2406 de 1979 Loi 685 de 2001 Loi 685 de 2001 + Protection Envi. Loi 685 de 2001 + Protection Envi.	Actualisation des normes et guides Consigne de protection environnementale (BU) Consigne de protection environnementale (BU) Consigne de protection environnementale (BU) Consigne de protection environnementale (BU) Consigne de	Sur la galerie Perte du contrôle Perte du contrôle Perte du contrôle Perte du contrôle Perte du contrôle	Confiance Paysage + Emission Emission Paysage Paysage + Emission Paysage + Emission Paysage + Emission Paysage + Emission	

TABLEAU C Qualification des barrières SCENARIO Silicooses		PHASE DE VIE EX : Exploitation EN : ENtretien AP : APres exploitation TYPES DE BALAYES BT : Barrière Technologique BU : Barrière d'Utilisation										Retour d'expérience				
		Fonctionnement Normal IN : Incident FN => étude d'impact IN => étude de danger	Protection individuelle	Ventilation	Conception	Surveillance médicale	Formation, habilitation	Facteurs d'ambiance	Comportement humain	Consignes Consignations Procédures	Règlementation		Télésurveillance	Maintenance	Implantation	Effet sur l'environnement
1	Barrières															
1.1	Etude d'impact (BU) Etude de danger (BU) Limites autorisées (environnement + santé) (BU) Guide du travail minier (BU) <ul style="list-style-type: none"> • Techniques d'abattage • Techniques de maritage • Techniques de roulage • Contrôle de la poussière • Protection individuelle • Ventilation • Soutènement • Système d'information minier • Hygiène et protection environnemental • Plan d'aide mutuelle • Communication de risques 	Définition de des équipements de protection EPI » individuels, EPI » de protection respiratoire	Systèmes d'extraction de la poussière Systèmes de ventilation	Etude d'impact des ouvrages Etude d'impact en opération Etude d'impact après opération Etude des dangers et risques Guide du travail minier	Habilitation à l'évaluation des dangers et risques (BU) Habilitation à l'évaluation d'impact	Classification de la région Usage du territoire	Résistance a l'opération minière Vol Malveillance	Consignes de protection du personnel (BU) Consignes de protection de l'infrastructure (BU) Consignes de protection du voisinage (BU)								
1.2	Guide du travail minier : Ventilation (BU) <ul style="list-style-type: none"> • Techniques de ventilation • Ventilation en maintenance • Contrôle de la poussière 															
2																
2.1	Guide du travail minier : protection individuelle « EPI » (BU) Norme de construction des EPI (BU+BT): <ul style="list-style-type: none"> • Respiratoire 															
2.2	Protocole de surveillance médicale du secteur minier (BU) Protocole de surveillance épidémiologique régional associé à exploitation minière (BU) Systèmes d'information de la surveillance médicale « interne - nationale » (BU) Programme de réduction de la consommation de tabac et de ses effets renforçateurs (BU) Habilitation pour l'utilisation de machines minières « véhicules miniers, etc. » (BU)															
2.3	Habilitation à l'évaluation des dangers et risques (BU)															

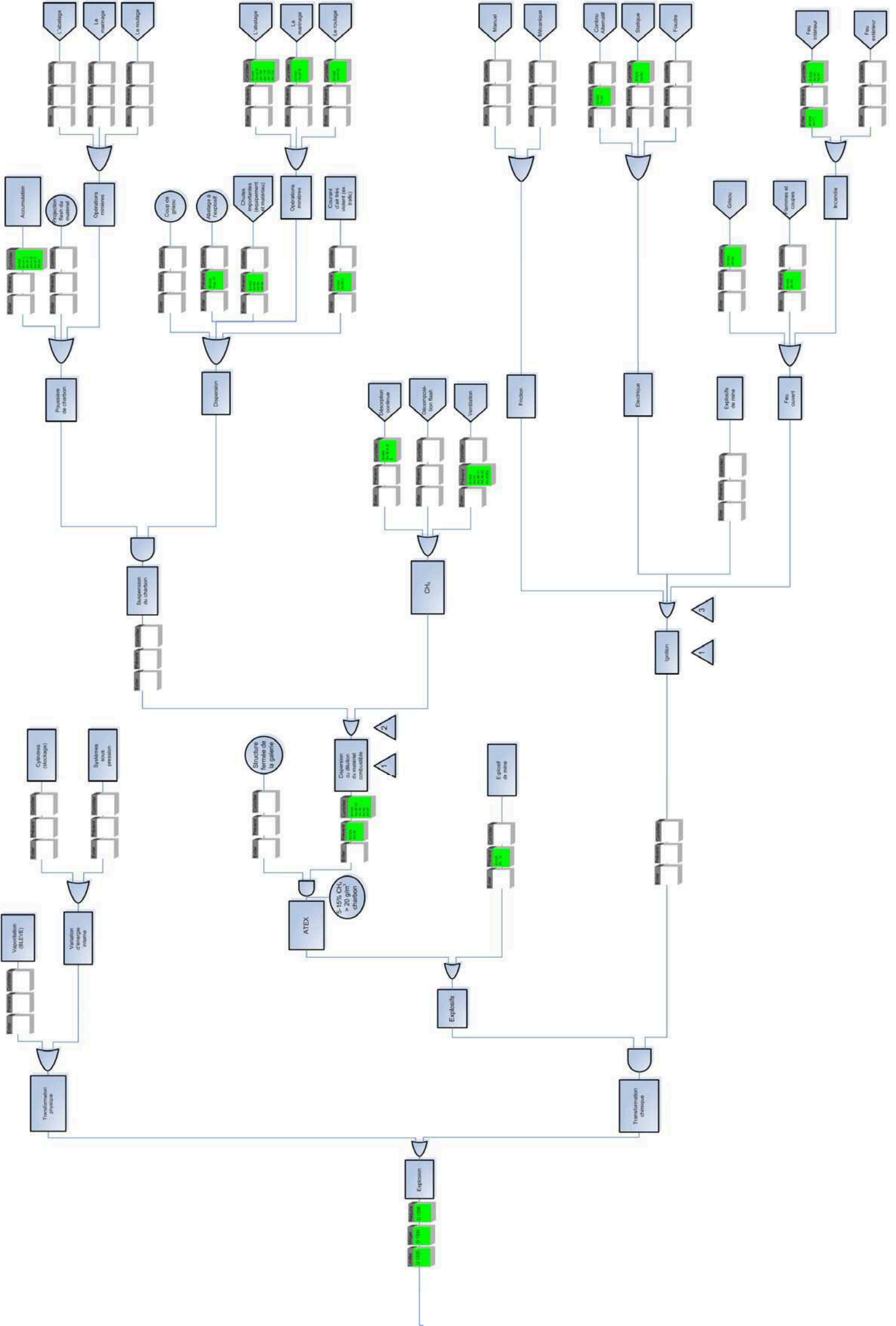
<p>Formation pour utilisation des outils miniers (BU)</p> <p>Formation EPI (BU)</p> <p>Formation en systèmes et techniques d'audits (BU)</p> <p>Formation à la survie minière (BU)</p> <p>Formation vis-à-vis des procédures de travail sûre (BU)</p> <p>Formation en systèmes de détection et alarme (BU)</p> <p>Formation en évaluation du poste de travail (BU)</p> <p>Structure fermée de la galerie</p> <p>Matériaux d'extraction</p> <p>Matériaux associés à l'extraction</p> <p>Travail en milieux confinés</p> <p>Obscurité</p> <p>Températures extrêmes</p> <p>Haut niveau de bruit</p> <p>Panique</p> <p>Malveillance</p> <p>Fatigue</p>			3	<p>3.1 Consignes en phase normale (BU)</p> <p>Consignes en maintenance (BU)</p> <p>Consignes en cas d'arrêt partiel ou total de la production (BU)</p> <p>Consignes de surveillance (BU)</p> <p>Consignes avant opération (BU)</p> <p>Consigne après opération (BU)</p> <p>Consignes d'investigation « post incident ou accident » (BU)</p> <p>Consignes de protection du personnel (BU)</p> <p>Consignes de protection de l'infrastructure (BU)</p> <p>Consignes de protection du voisinage (BU)</p>

A.5 Arbres logiques

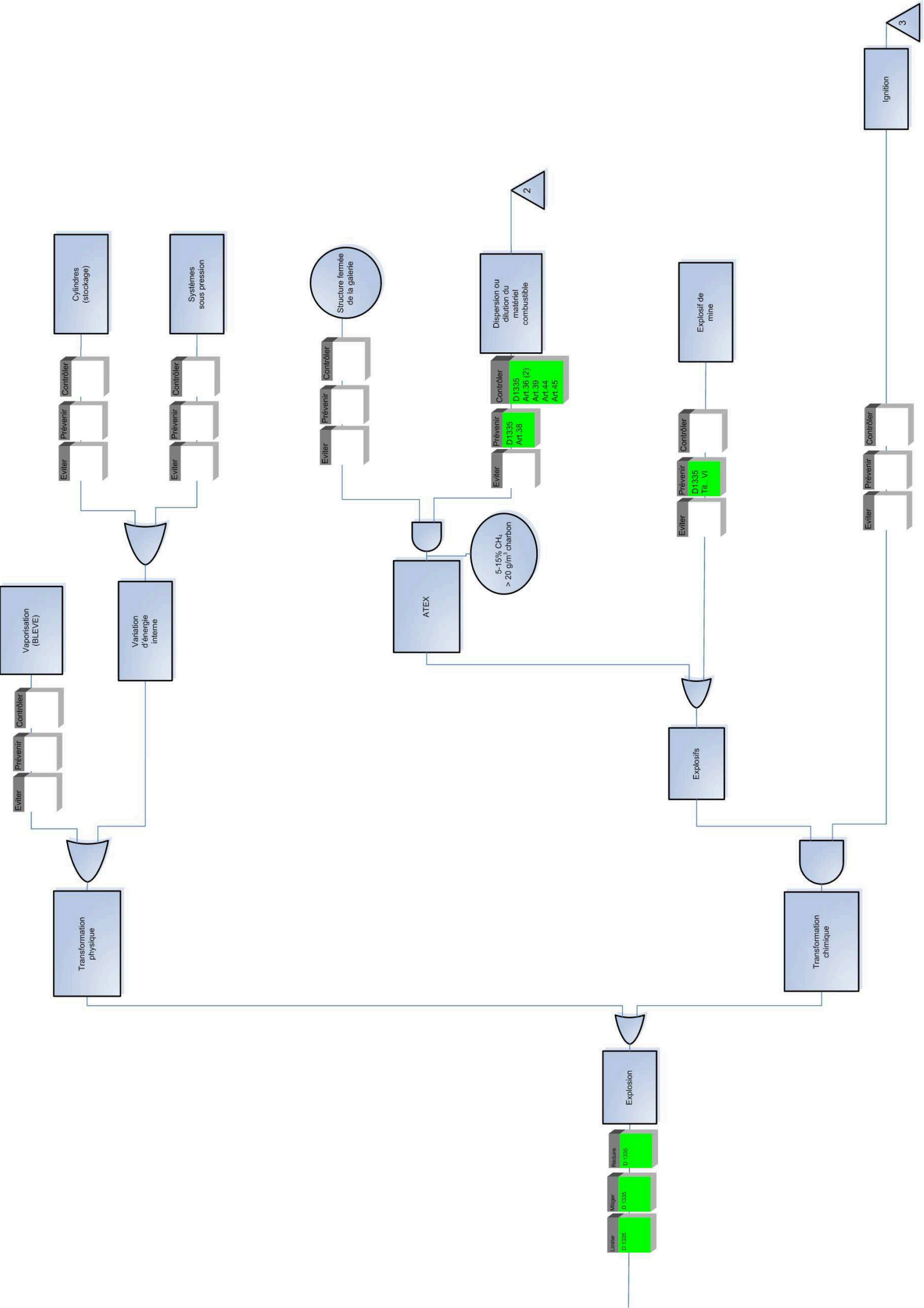
Scénarios :

- **Explosion**
- **Effondrement**
- **Silicose**

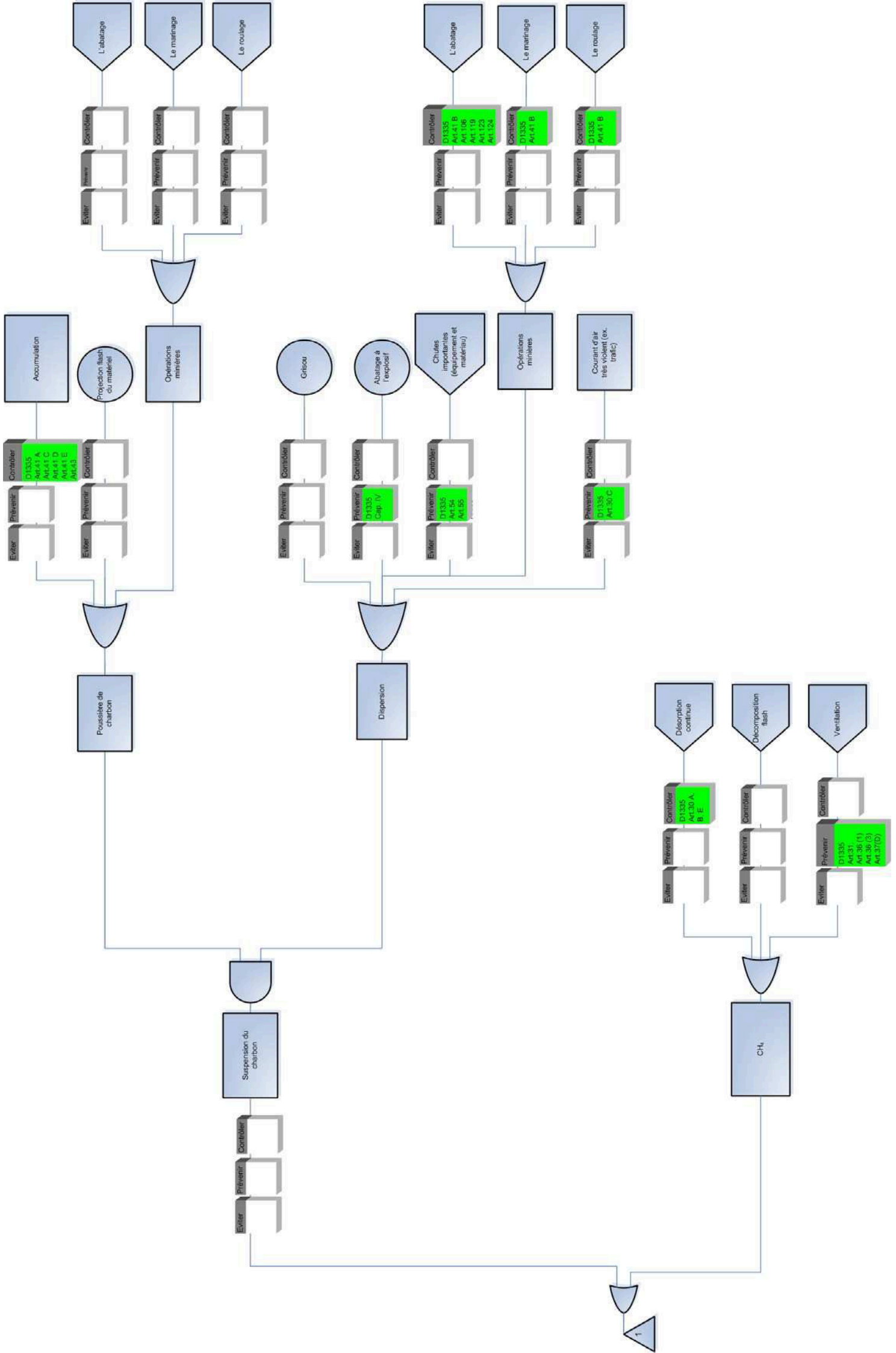
A.5.1 Arbre logique d'une explosion dans les extractions souterraines et présentation des fonctions des barrières réglementaires colombiennes



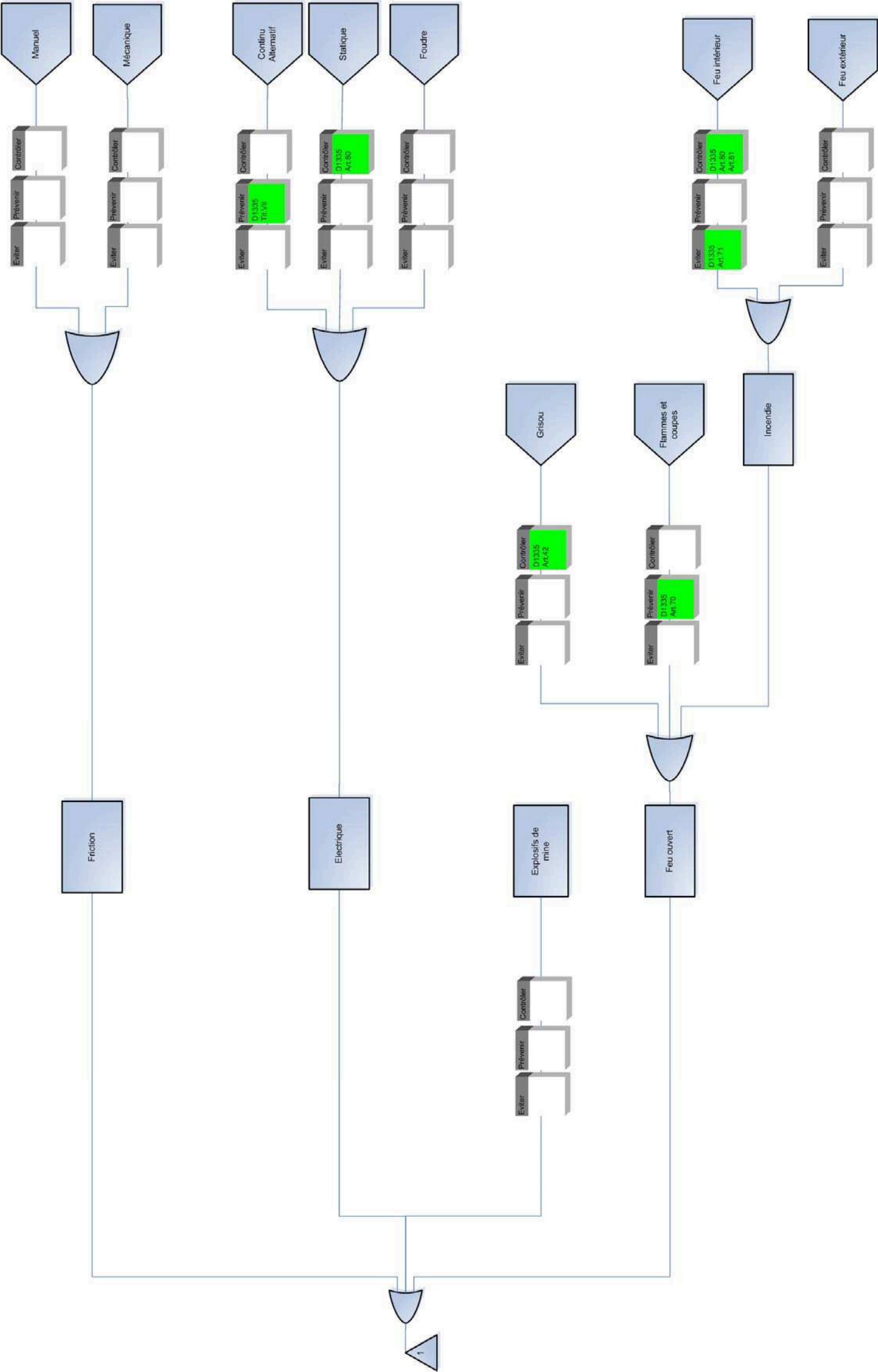
A.5.1.1 Arbre logique d'une explosion dans les extractions souterraines et présentation des fonctions des barrières réglementaires colombiennes (partie 1 / 3)



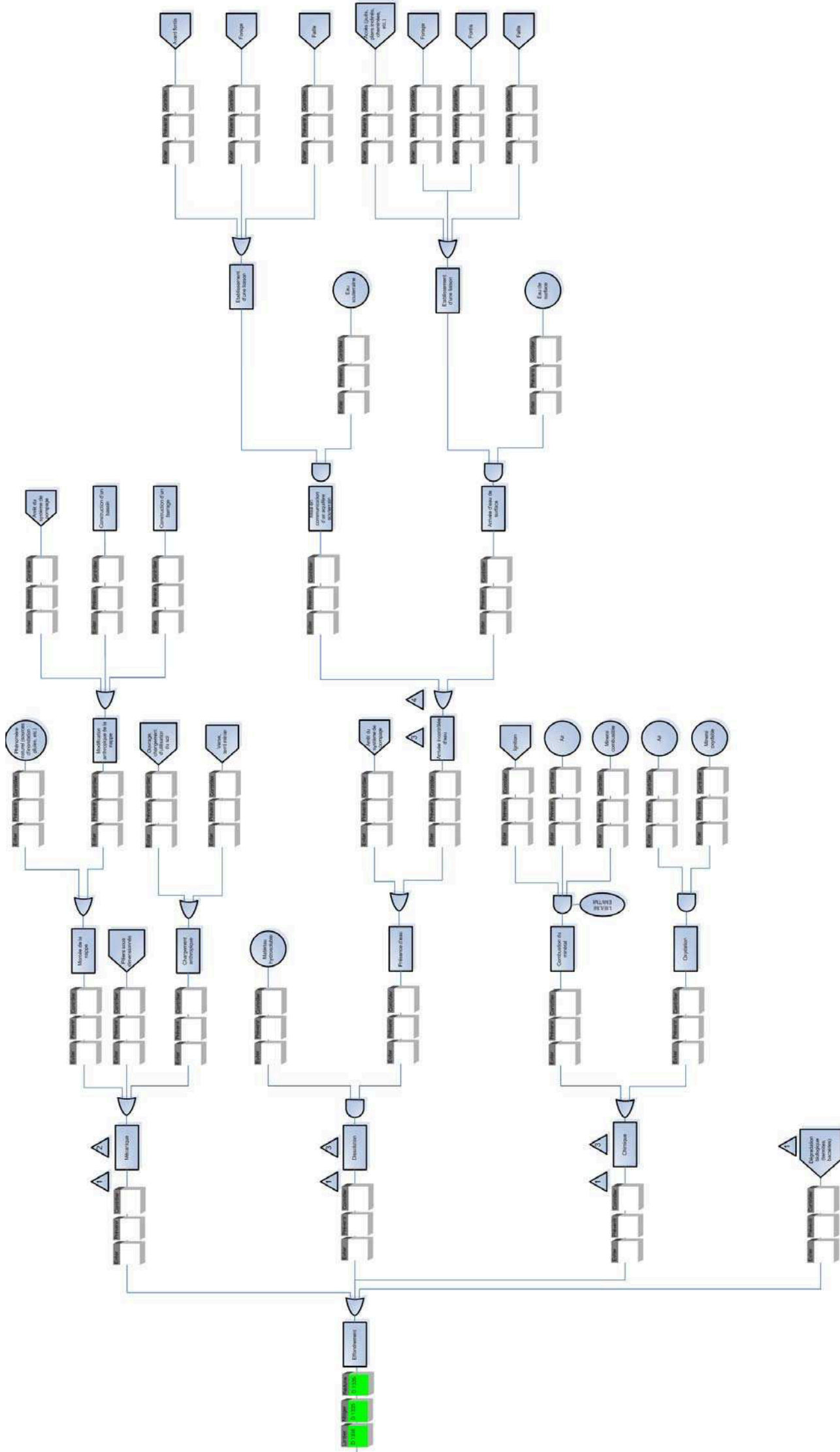
A.5.1.2 Arbre logique d'une explosion dans les extractions souterraines et présentation des fonctions des barrières réglementaires colombiennes (partie 2 / 3)



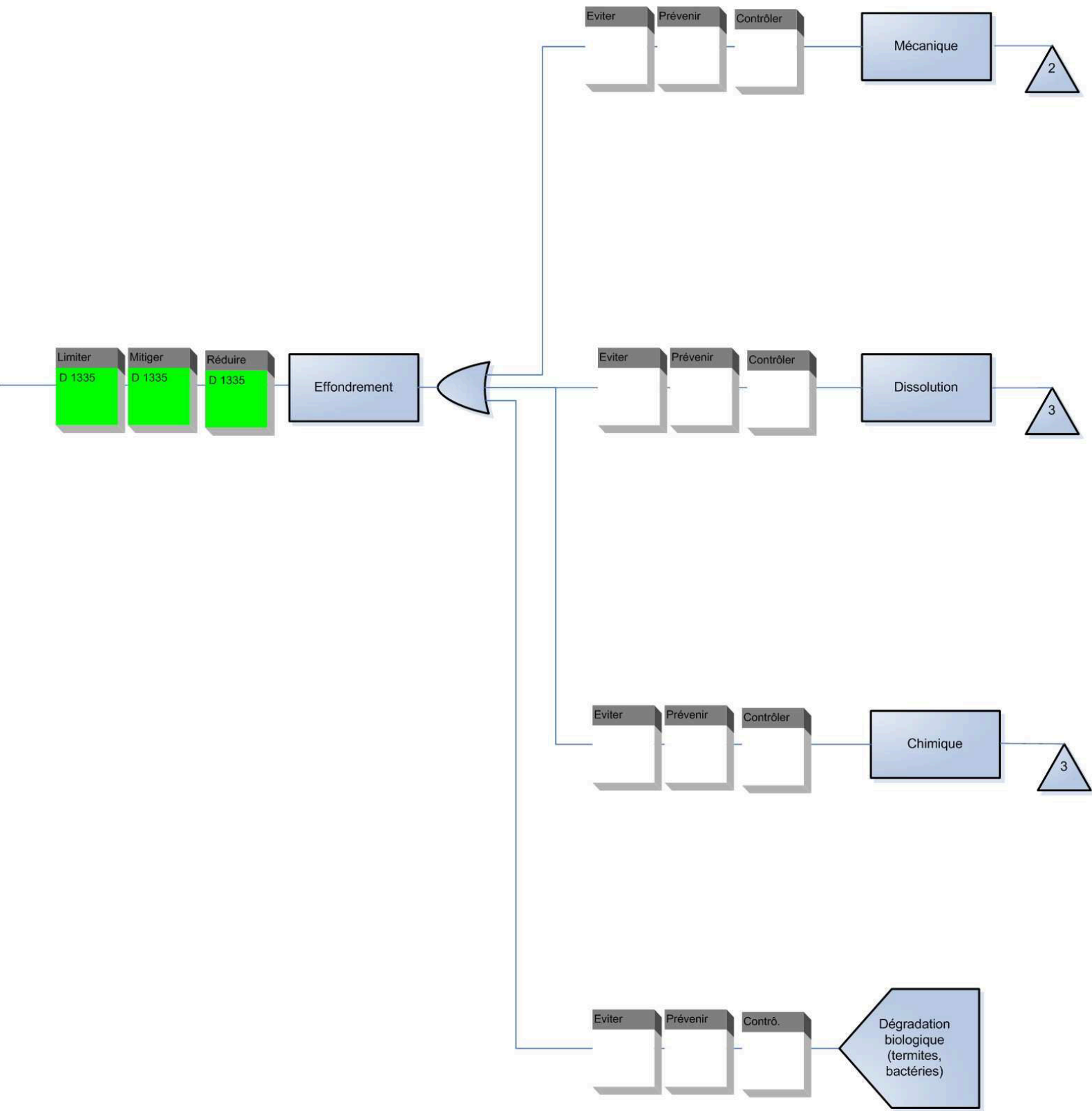
A.5.1.3 Arbre logique d'une explosion dans les extractions souterraines et présentation des fonctions des barrières réglementaires colombiennes (partie 3 / 3)



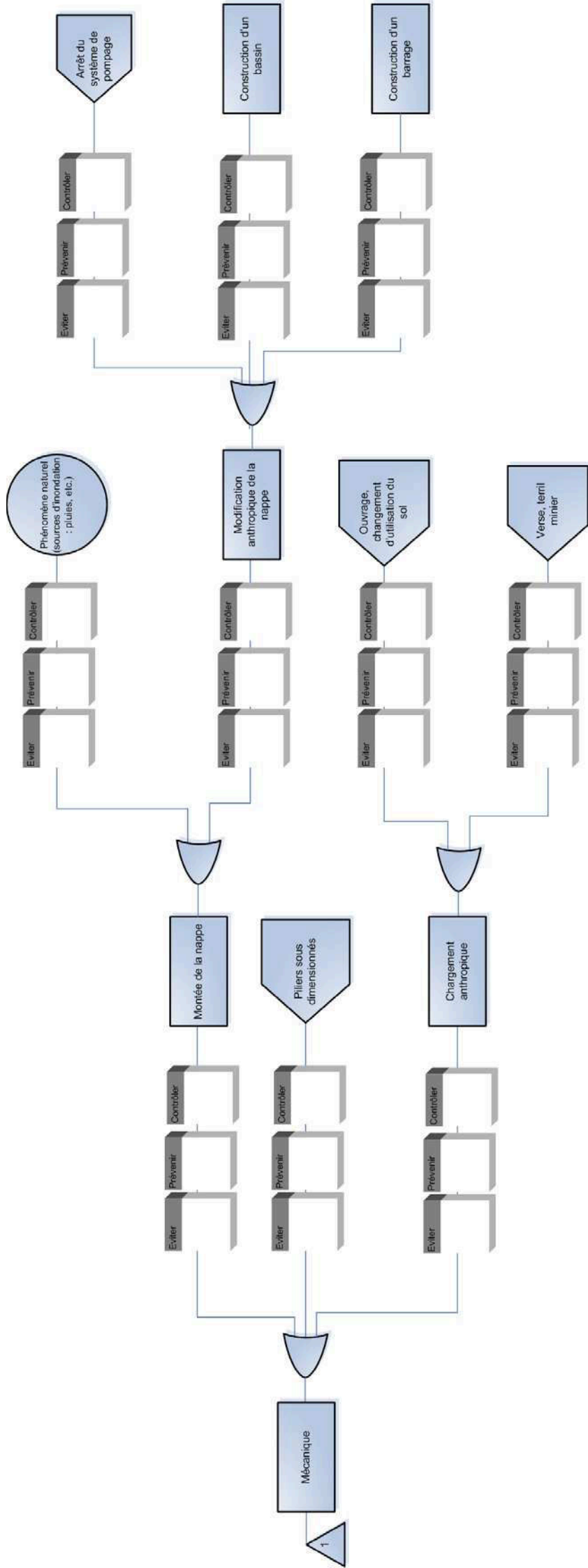
A.5.2 Arbre logique d'un effondrement dans les extractions souterraines et présentation des fonctions des barrières réglementaires colombiennes



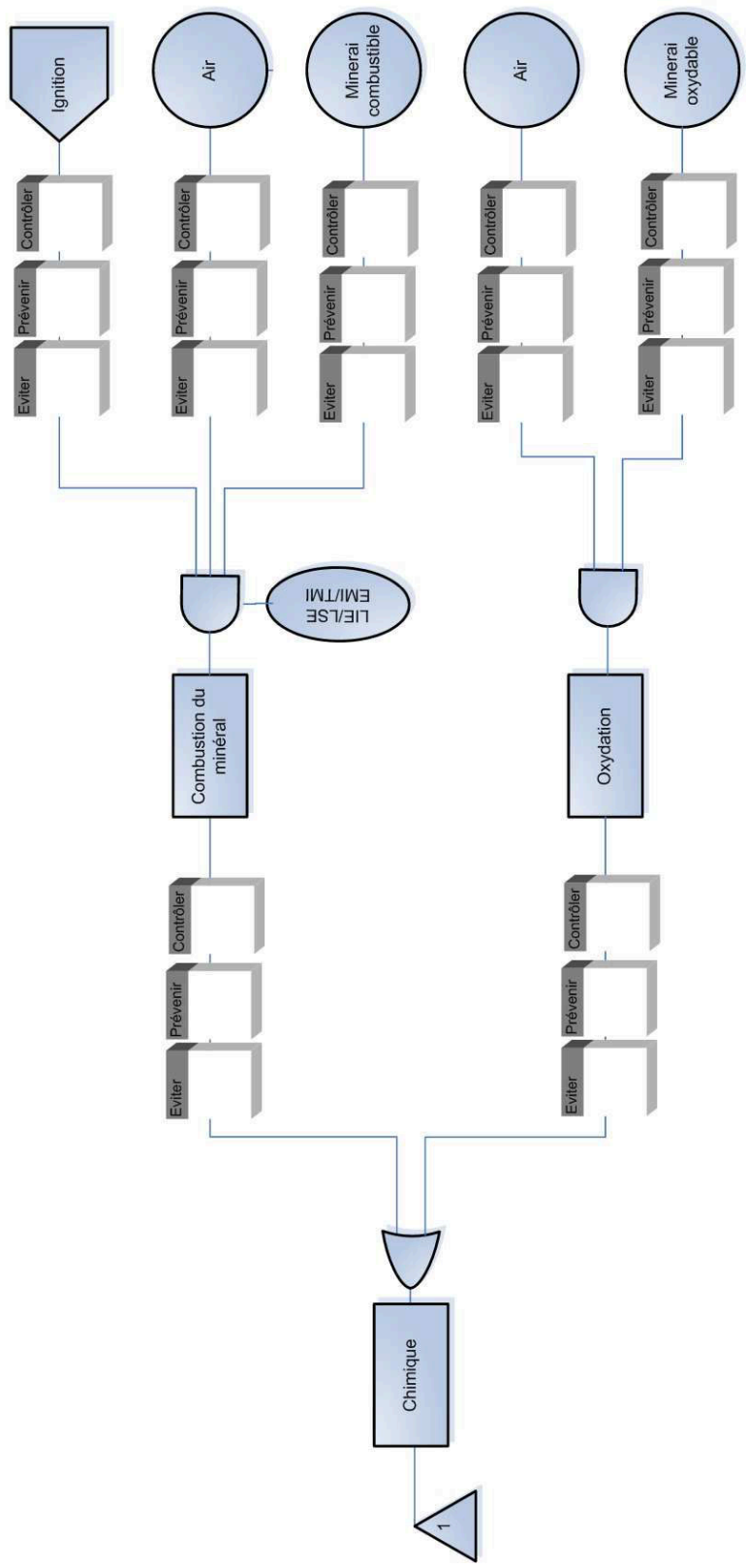
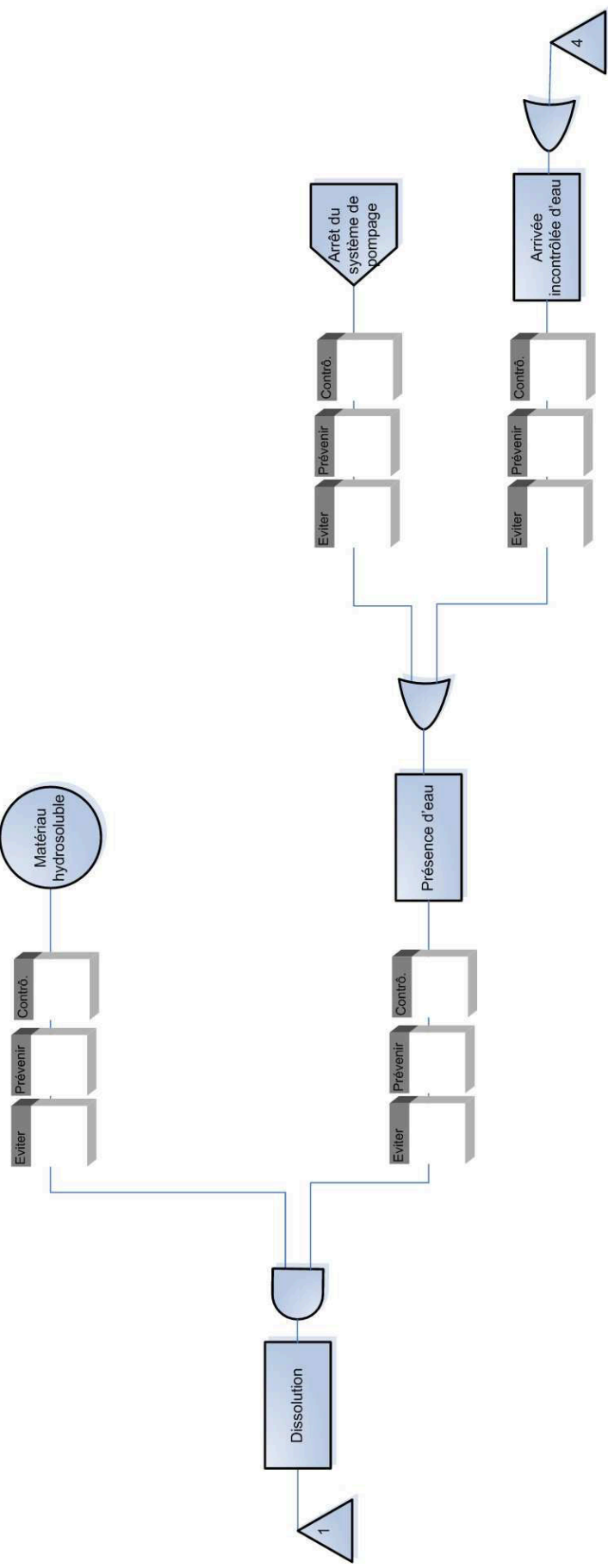
A.5.2.1 Arbre logique d'un effondrement dans les extractions souterraines et présentation des fonctions des barrières réglementaires colombiennes (partie 1 / 4)



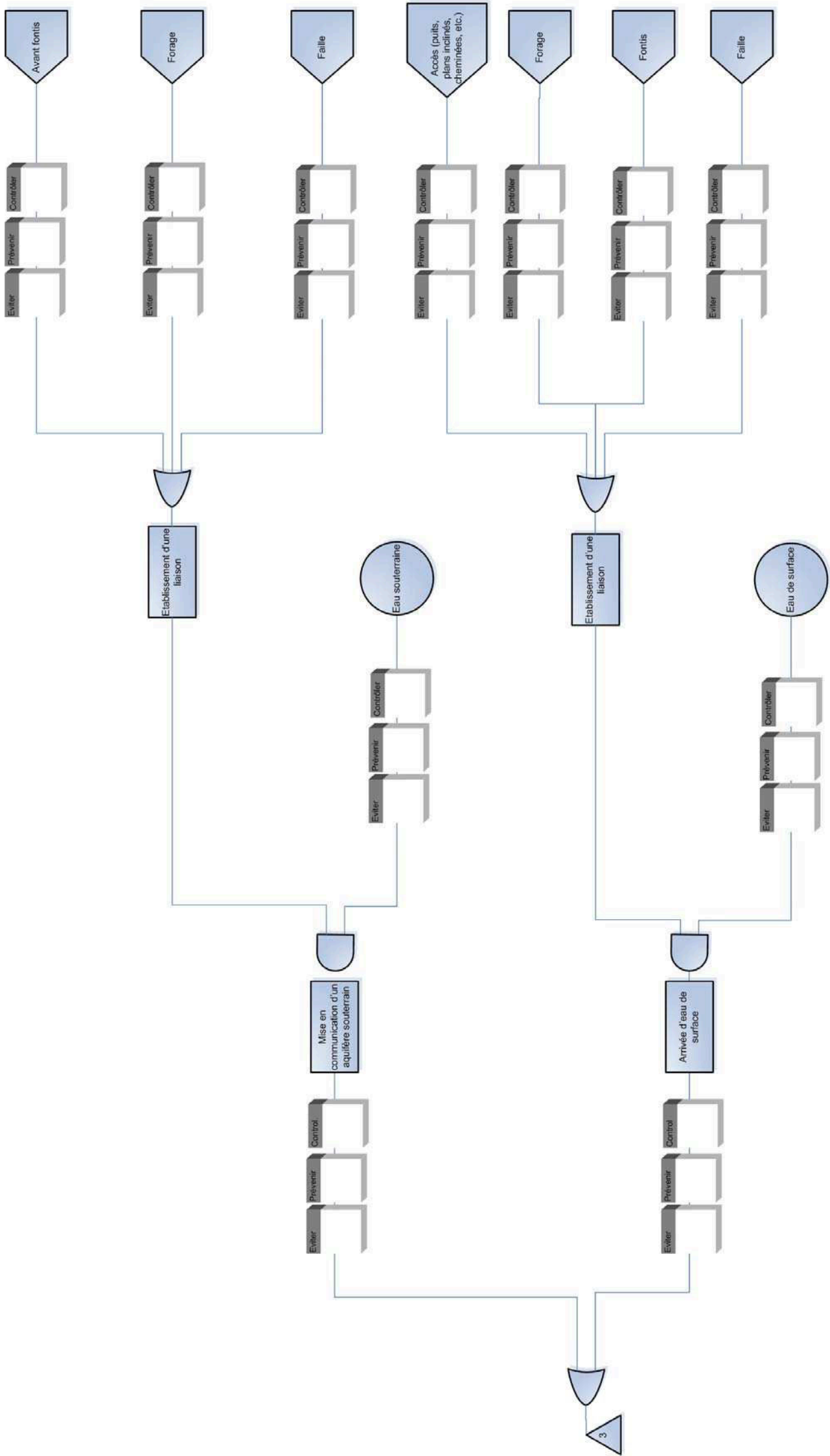
A.5.2.2 Arbre logique d'un effondrement dans les extractions souterraines et présentation des fonctions des barrières réglementaires colombiennes (partie 2 / 4)



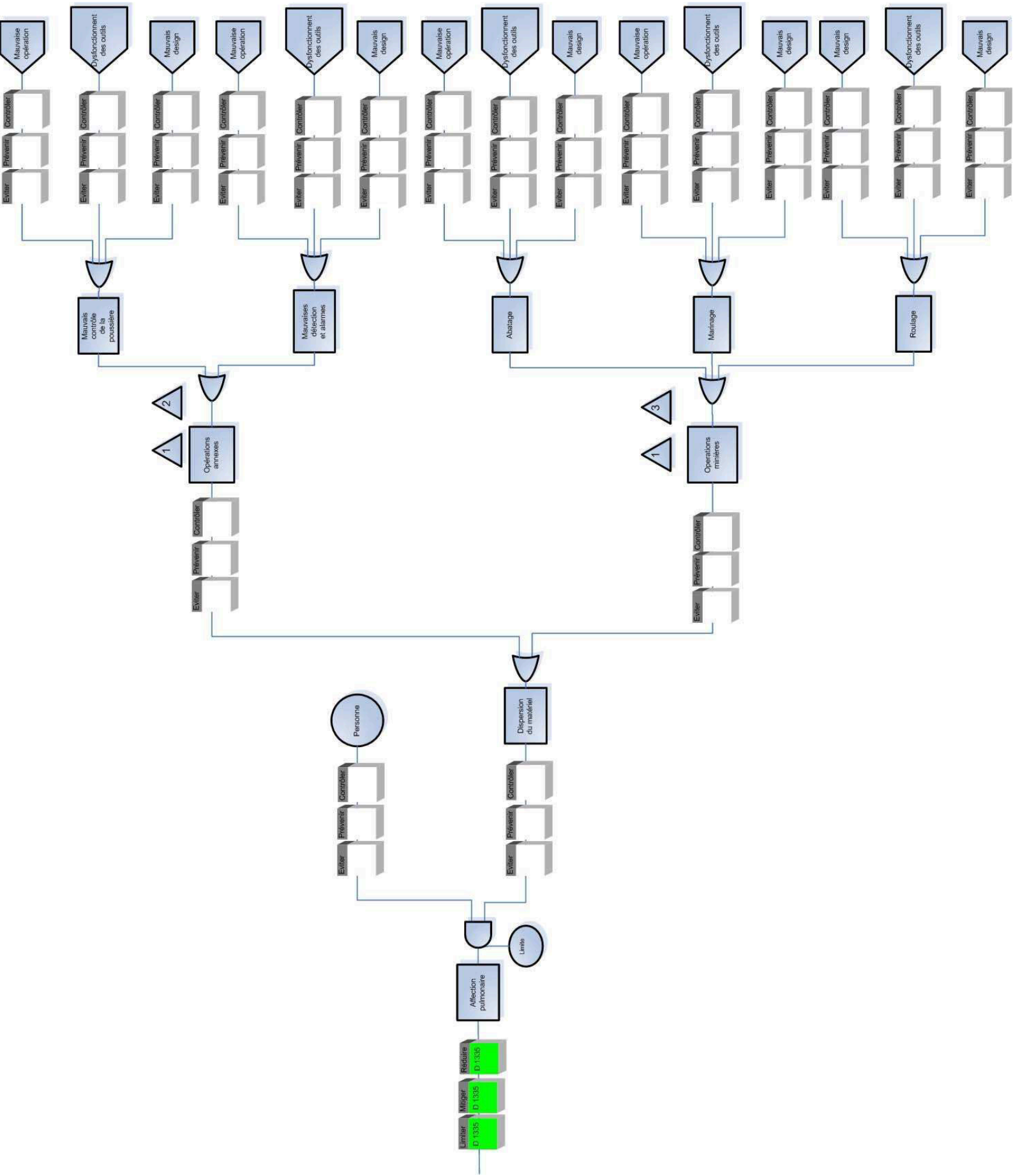
A.5.2.3 Arbre logique d'un effondrement dans les extractions souterraines et présentation des fonctions des barrières réglementaires colombiennes (partie 3 / 4)



A.5.2.4 Arbre logique d'un effondrement dans les extractions souterraines et présentation des fonctions des barrières réglementaires colombiennes (partie 4 / 4)



A.5.3 Arbre logique de silicozes dans les extractions souterraines et présentation des fonctions des barrières réglementaires colombiennes



Limiteur D 1335
 Médiateur D 1335
 Réducteur D 1335

Affection pulmonaire

Limite

Eviter Prévenir Contrôler

Dispersion du matériel

Personne

Eviter Prévenir Contrôler

Opérations annexes

Eviter Prévenir Contrôler

Mauvais contrôle de la poussière

Eviter Prévenir Contrôler

Mauvais réglages et alarmes

Eviter Prévenir Contrôler

Abatage

Eviter Prévenir Contrôler

Opérations minières

Eviter Prévenir Contrôler

Marrage

Eviter Prévenir Contrôler

Roulage

Eviter Prévenir Contrôler

Dysfonctionnement des outils

Eviter Prévenir Contrôler

Mauvais design

Eviter Prévenir Contrôler

Mauvaise opération

Eviter Prévenir Contrôler

Dysfonctionnement des outils

Eviter Prévenir Contrôler

Mauvais design

Eviter Prévenir Contrôler

Mauvaise opération

Eviter Prévenir Contrôler

Dysfonctionnement des outils

Eviter Prévenir Contrôler

Mauvais design

Eviter Prévenir Contrôler

Mauvaise opération

Eviter Prévenir Contrôler

Dysfonctionnement des outils

Eviter Prévenir Contrôler

Mauvais design

Eviter Prévenir Contrôler

Mauvais design

Eviter Prévenir Contrôler

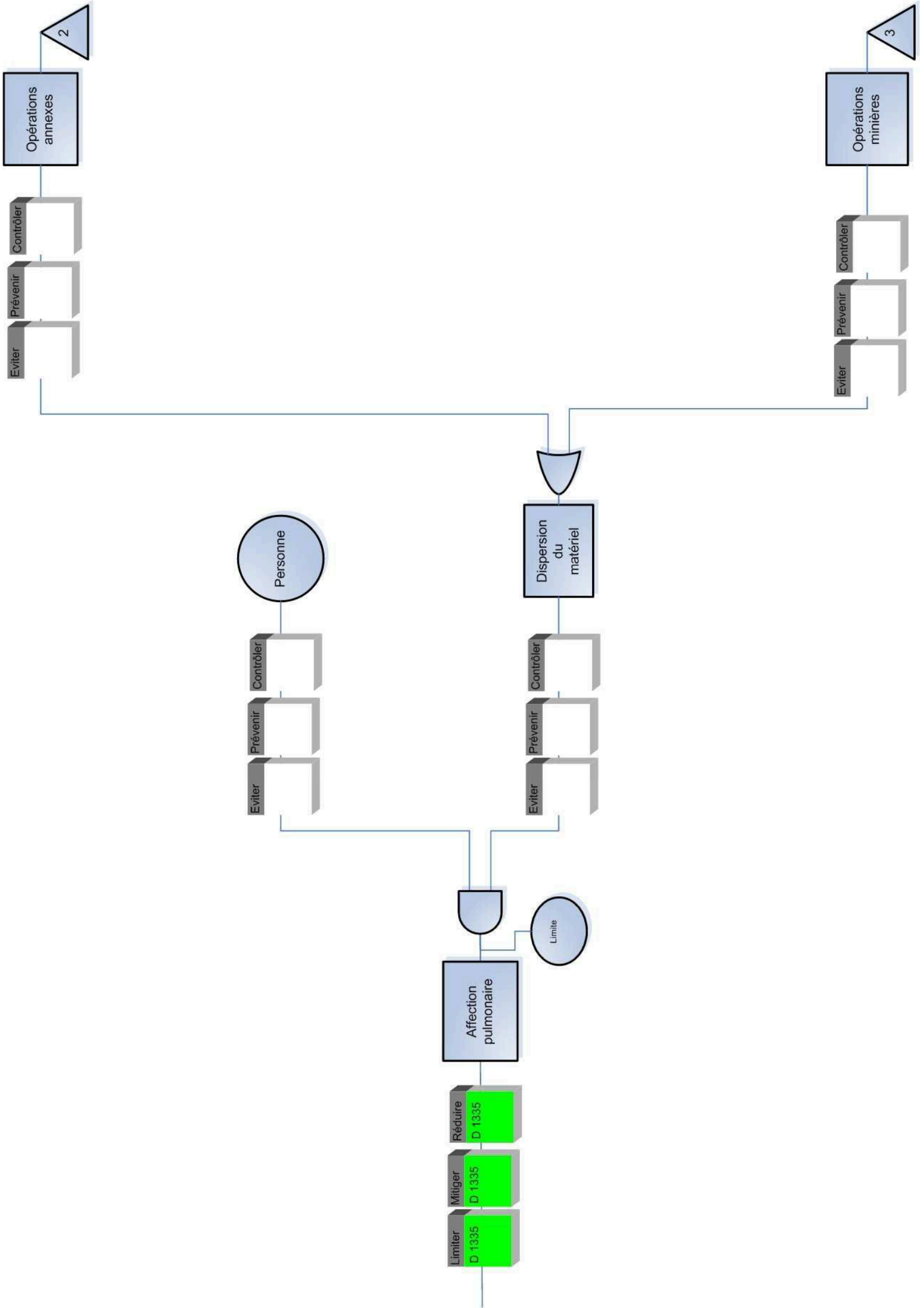
Dysfonctionnement des outils

Eviter Prévenir Contrôler

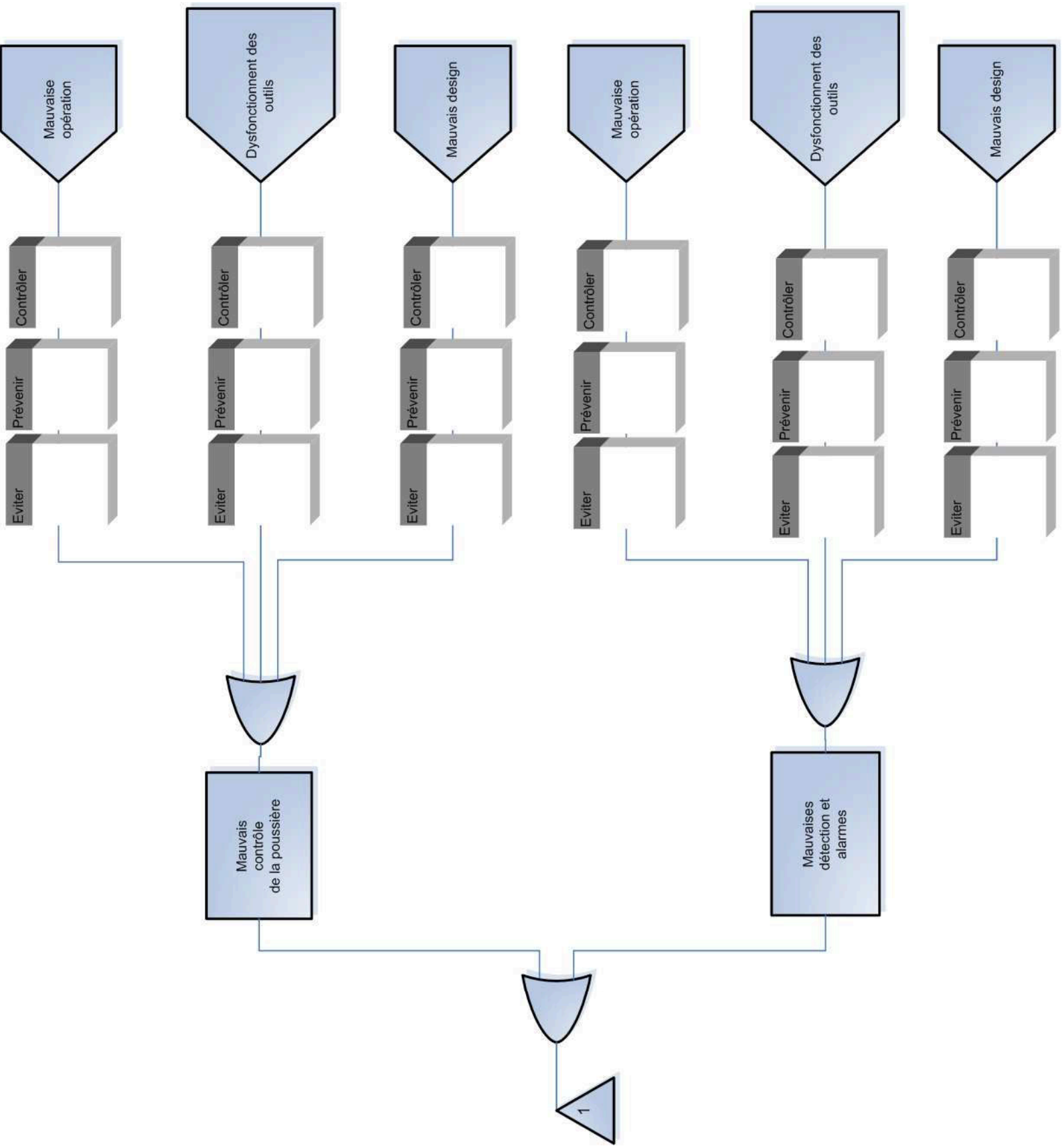
Mauvais design

Eviter Prévenir Contrôler

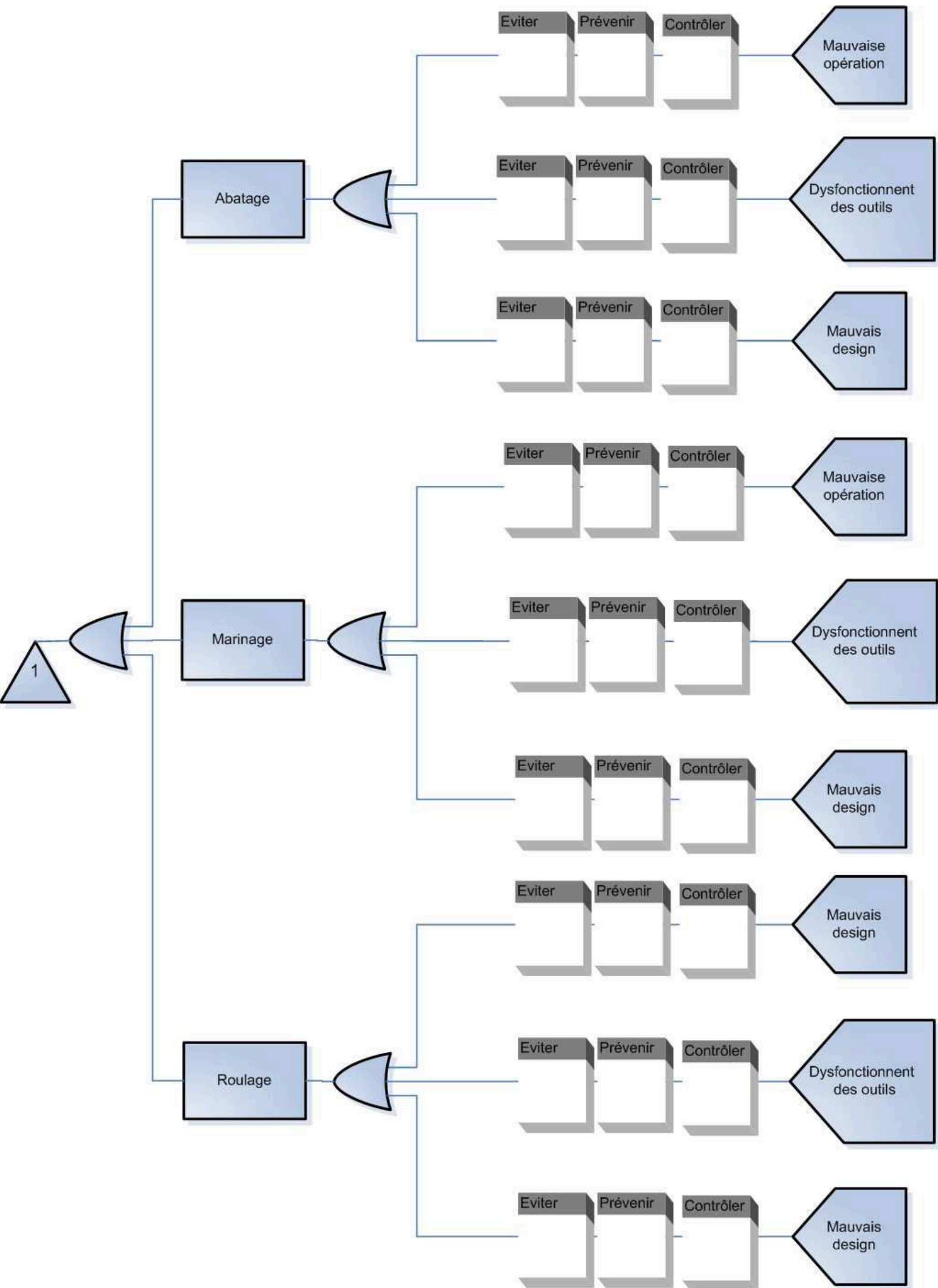
A.5.3.1 Arbre logique de silicozes dans les extractions souterraines et présentation des fonctions des barrières réglementaires colombiennes (partie 1 / 3)



A.5.3.2 Arbre logique de silicozes dans les extractions souterraines et présentation des fonctions des barrières réglementaires colombiennes (partie 2 / 3)



A.5.3.3 Arbre logique de silicozes dans les extractions souterraines et présentation des fonctions des barrières réglementaires colombiennes (partie 3 / 3)



Liste des publications et des communications

- MUNOZ F., PERRIN L., SARDIN M., JOSIEN J.P. (2006). Underground mine hazards: risk analysis, barriers and legislation. Society for Risk Analysis Annual Conference. Baltimore, USA 3-6 Décembre 2006.

Prix: « Risk Analysis Student Awards »
- MUNOZ F., PERRIN L., CHERY O., SARDIN M., JOSIEN J.P. (2006) A first methodological proposal for the evaluation of regional risks associated to the exploitation and mining benefit. ESREL2006. Estoril, Portugal 17-22 Septembre 2006
- MUNOZ F., PERRIN L., CHERY O., SARDIN M., JOSIEN J.P. (2006) A first methodological proposal for the evaluation of regional risks associated to the exploitation and mining benefit. Safety and Reliability for Managing Risk. Taylor & Francis, 1081-1088 (2) 2006. Londres.
- MUNOZ F., PERRIN L., SARDIN M., JOSIEN J.P. (2006). The approach MADS/MOSAR to manage the triptych “technology / normative / management”. Society for Risk Analysis-Europe 15th Annual Conference. Ljubljana, Slovénie 11-13 Septembre 2006.

AUTORISATION DE SOUTENANCE DE THESE
DU DOCTORAT DE L'INSTITUT NATIONAL
POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

o0o

VU LES RAPPORTS ETABLIS PAR :

Monsieur Christian DELVOSALLE, Professeur, Faculté Polytechnique de Mons, Belgique

Monsieur Henry LONDICHE, Maître de Recherche, Ecole des Mines de Saint-Etienne

Le Président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, autorise :

Monsieur MUÑOZ GIRALDO Felipe

à soutenir devant un jury de l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE,
une thèse intitulée :

**"Utilisation de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR pour l'évaluation des
systèmes de barrières de sécurité : application au secteur minier colombien"**

en vue de l'obtention du titre de :

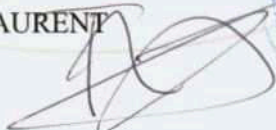
DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

Spécialité : « **Génie des procédés et des produits** »

Fait à Vandoeuvre, le 21 août 2007

Le Président de l'I.N.P.L.,

F. LAURENT



NANCY BRABOIS
2, AVENUE DE LA
FORET-DE-HAYE
BOITE POSTALE 3
F - 5 4 5 0 1
VANDŒUVRE CEDEX

Utilisation de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR pour l'évaluation des systèmes de barrières de sécurité : application au secteur minier colombien

Résumé :

Dans ce travail, nous expliquons l'application de la méthodologie MADS/MOSAR sur le secteur de extraction minier colombien et nous analysons le lien existant entre la législation colombienne et trois scénarios d'accident (explosion, effondrement post-opération et les maladies pulmonaires). L'ensemble réglementaire d'un pays peut être appréhendé comme des barrières de sécurité et joue un rôle important dans la gestion de la sécurité. La définition, la classification et l'exécution des barrières réglementaires, permet à l'administrateur des risques technologiques d'effectuer une réduction du risque afin d'augmenter l'acceptabilité dans le contexte régional. Il permet d'identifier les flux de dangers pour un groupe d'événements, de définir l'existence ou l'absence de barrières réglementaires et de produire un panorama global positionnant les différents instruments existants et autorisant de futures opportunités de gestion. Les résultats de notre analyse montrent un point de vue qui peut être très utile pour qu'un gouvernement local ou un système national développe et/ou évalue son propre ensemble réglementaire pour la gestion des risques.

Mots-clés : MADS, MOSAR, risque, barrière de sécurité, législation, mine

Evaluation of safety barriers through the MADS/MOSAR methodology: case study of the Colombian mining sector.

Abstract :

In this work, we explain the application of the MADS/MOSAR methodology in the Colombian mining sector and analyze the current legislation linked with three scenarios (explosion, post-operation collapsing and pulmonary diseases). The entire normative body of a country can be conceived as safety barriers and it plays an important role in industrial safety management. The definition, classification and performance of the normative barriers, allows the management of technological risks to perform a risk reduction in order to enhance the acceptability in the regional context. It permits to identify the flux of danger for a group of events, to define the existence of normative barriers and to generate a global panorama over the position of the different instruments that already exist allowing future management opportunities. The results of our analysis show a point of view that can be very useful for a local government or a whole national system to develop and/or evaluate his legislative instruments of risk management.

Keywords: MADS, MOSAR, risk, safety barrier, legislation, mine